

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU TEKNIikka

Kariniemi Tuomas

Sähkönjakeluverkko ja varavoimajärjestelmät Ekfors Kraft -sähkøyhtiön toimitiloihin

Sähkötekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö
Sähkövoimatekniikka
Kemi 2010

ALKUSANAT

Tahdon kiittää opinnäytetyön ohjaajina toimineita Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun opettaja Antero Martimoa ja Övertorneå Elektriskan Torbjörn Aasaa. Lisäksi tahdon kiittää Ekfors Kraft -sähkøyhtiön omistajaa Mikael Styrmannia hänen mahdolliseksi tekemästä suunnitteluprojektista. Kiitokset myös Ekfors Kraftin koko henkilökunnalle tuesta sekä avusta.

TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan yksikkö	
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Tuomas Kariniemi
Opinnäytetyön nimi	Sähkönjakeluverkko ja varavoimajärjestelmät
	Ekfors Kraft -sähkøyhtiön toimitiloihin
Työn laji	Opinnäytetyö
päiväys	12.10.2010
sivumäärä	49 + 19 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	Insinööri Antero Martimo
Yritys	Ekfors Kraft
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	Sähkötöistä vastaava Torbjörn Aasa

Tämän opinnäytetyön lähtökohtana oli suunnitella sähkönjakeluverkko ja varavoimajärjestelmät osiin Ekfors Kraft -sähkøyhtiön toimitiloista. Työn tarkoituksena oli mahdollistaa sähkøyhtiön toimitilojen toimivuus ja käyttö myös mahdollisten sähkökatkosten aikana. Työn tavoitteena oli siis saattaa yhtiön työntekijöille mahdollisimman suotuisat ja toimivat työympäristöt vikatilanteissa, jottei työskentely keskeytyisi ergonomisista syistä eli valaistukset, lämmitys ja muu sähkön tarve turvattaisiin.

Työtehtävä oli melko laaja, joten esim. kustannusarviota ei työssä ole käsitelty. Työn toteuttamisessa käytettiin uusia komponentteja ja jännitealueita, joten rajausten pienempiin asiakokonaisuuksiin oli haastavaa ja tärkeää.

Työ suunniteltiin enimmäkseen kotona internetiä ja erilaista kirjallisuutta apuna käyttäen. Useissa eri työvaiheissa oli kuitenkin käytävä myös suunniteltavalla alueella paikan päällä tarkastamassa sähkötekniikkaa ja -suunnitteluun liittyviä asioita.

Tämä opinnäytetyö on tehty Ekfors Kraft -sähkøyhtiölle 2010 kevään ja 2010 syksyn aikana.

Työssä selvitettiin kyseisen sähkönjakeluverkon tarvittavat komponentit sekä verkoston suojaukset.

Asiasanat: Yleistä sähköverkoista, kuormitettavuudet, oikosulkusuojaukset, symmetriset komponentit, jännitevaihtelut sekä varavoimajärjestelmät.

ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Electrical Engineering
Name	Tuomas Kariniemi
Title	Electrical Distribution Network and Use of Stand-by Supply System
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	12 September 2010
Pages	49 + 19 appendices
Instructor	Antero Martimo, B Sc (electrical engineering)
Company	Ekfors Kraft
Contact Person/Supervisor from Company	Distribution leader, Torbjörn Aasa

Distribution Network and Stand By Equipment

The main reason of this project was to create a distribution network for Ekfors Kraft. The purpose of this network was to ensure electricity to the companys own office and other buildings so that the employees could work even if the electricity went down.

The network has to be able to work even if the other distribution network goes down and for that a stand by equipment was planned. The equipment was a generator and ups-system. In this project, because of the long distances, 1000 voltage was used. For that reason the planning has to include not so commonly used transformers and other components. This also made the network protection more difficult to count out.

This project was mainly written from home but I also was on the field working practically on this network system.

In the result of the project we found out this distribution networks used components and network protections.

Keywords: Common about the networks, load capacity, short circuit protection, symmetrical components, voltage differences and stand by equipments.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	I
TIIVISTELMÄ.....	II
ABSTRACT.....	III
SISÄLLYSLUETTELO	IV
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET.....	VI
1. JOHDANTO	1
2. YRITYS JA SEN HISTORIA.....	2
3. ALUEEN KUVAUS	3
3.1. Kaavoitus.....	3
3.2. Rakennukset ja niiden nykyinen kulutus.....	4
4. YLEISTÄ TYÖN SÄHKÖVERKOISTA.....	6
4.1. 20 kV:n keskijänniteverkko	6
4.2. 1 kV:n ja 0,4 kV:n pienjänniteverkko	7
5. TEHOJEN LASKEMINEN	9
6. KUORMITETTAVUUDET.....	12
6.1. Jakelumuuntajan kuormitettavuus.....	12
6.2. Kaapelien kuormitettavuus.....	14
7. SUOJAUKSET	16
7.1. Keskijänniteverkon suojaukset.....	16
7.1.1. Keskijänniteverkon oikosulkusuojaus.....	16
7.1.2. Keskijänniteverkon maasulkusuojaus	18
7.2. Pienjänniteverkon suojaukset.....	20
7.2.1. Ylikuormitussuojaus	20
7.2.2. Oikosulkusuojaus	22
7.3. 1 kV:n verkon suojaus.....	25
7.3.1. Ylivirtasuojaus	26
7.3.2. Maasulkusuojaus	26
7.3.3. Ylijännitesuojus	27
8. SYMMETRISET KOMPONENTIT	28
9. JÄNNITEVAIHTELUT	31
9.1. Kaapeleiden jännitteen alenemat.....	31
10. VARAVOIMAJÄRJESTELMÄT	32
10.1. Varavoimakone	32
10.2. UPS-laitteisto	33
10.2.1. UPS-verkon rakenne	35
11. TYÖN TOTEUTUS	37
11.1. Teholaskelmat	37
11.2. Ekfors Kraftin muuntajavalinnat.....	38
11.3. Ekfors Kraftin kaapeleiden valinnat.....	40
11.4. Oikosulkuvirtalaskelmat ja suojausten valinta.....	41
11.5. Ekfors Kraftin keskijänniteverkon oikosulkusuojaus	42
11.6. Työn Pj-verkon suojaukset.....	42
11.6.1. Oikosulkuvirta.....	43
11.7. Jännitteen alenemat	43

11.7.1.	Muuntajien jännitteen alenemat	44
11.8.	Työn varavoimakone	45
11.9.	Työn UPS-järjestelmä	47
12.	YHTEENVETO	48
13.	LÄHDELUETTELO	49
14.	LIITELUETTELO	50

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

P_j	pienjännite
K_j	keskijännite
P_{jk}	pikajälleenkytkentä
A_{jk}	aikajälleenkytkentä
UPS	(Uninterruptible Power Supply)
P_{max}	huipputeho
I	virta
U	jännite
P	teho
I_k	oikosulkuvirta
I_{k1v}	yksivaiheinen oikosulkuvirta
U_h	jännitteenalenema
S	näennäisteho
S_n	nimellisteho
Z_k	oikosulkuimpedanssi
I_N	niemellisvirta
U_v	vaihejännite
r_j	vaihejohtimen resistanssi
R_m	muuntajan oikosulkuresistanssi
x_j	vaihejohtimen reaktanssi
X_m	muuntajan oikosulkureaktanssi
x_{j0}	vaihejohtimen nollareaktanssi
R_{m0}	muuntajan nollareaktanssi
r_0	nollajohtimen resistanssi
X_{m0}	muuntajan nollareaktanssi
x_0	nollajohtimen reaktanssi
l	johdonpituus

1. JOHDANTO

Opinnäytetyöni aiheeksi sain suunnitella sähköjakeluverkon ja varavoimajärjestelmän Ekfors Kraftin työntekijöiden toimitiloihin. Tämän työn minulle tarjosi Ekfors Kraft -sähköyhtiö. Aihe valittiin yhtiön tulevaisuuden suunnitelmia silmälläpitäen. Työn tarkoituksena on toteuttaa ja uudistaa kyseessä olevan yhtiön työskentelytilojen sähköjakelu ja mahdollistaa niiden toimivuus ja käyttökyky myös vikatilanteissa eli sähkökatkosten aikana.

Työ on laaja ja siinä käytetään uudenlaista jännitealuetta eli 1 kV:n siirtojännitettä. Tähän liittyen tarvittiin tämän kyseisen jännitealueen mahdollistavat muuntajat, kaapelit ja suojaukset, joiden käyttö oli uutta Ekfors Kraft -sähköyhtiön verkostossa.

Työ on rajattu sähkötekniillisiin näkökohtiin ja esim. kustannuslaskenta on työn laajuuden vuoksi jätetty tekemättä. Myös osa tarvittavista ja käytettävistä komponenteista on jo yrityksellä, joten näitä on pyritty käyttämään ja ottamaan huomioon suunniteltaessa esim. kaapeleita, muuntajia, muuntajakaappeja ja varavoimageneraattori.

2. YRITYS JA SEN HISTORIA

Ekfors Kraft on Övertorneån ja Haaparnannan kuntien alueilla toimiva sähköyhtiö. Yhtiö perustettiin 1916. Perustettaessa vesivoima oli yhtiön tärkein osa. Yhtiötä voidaan kutsua perheyriytekseksi, kun sitä johtaa tällä hetkellä jo kolmas sukupolvi. /2/

Ekfors Kraft -yhtiössä työskentelee sähkökunnossapidon päivystäjinä vuoroviikoin neljä henkilöä. Sähköyhtiö työllistää 11 henkilöä ja lisäksi myös useita aliurakointiyrityksiä.

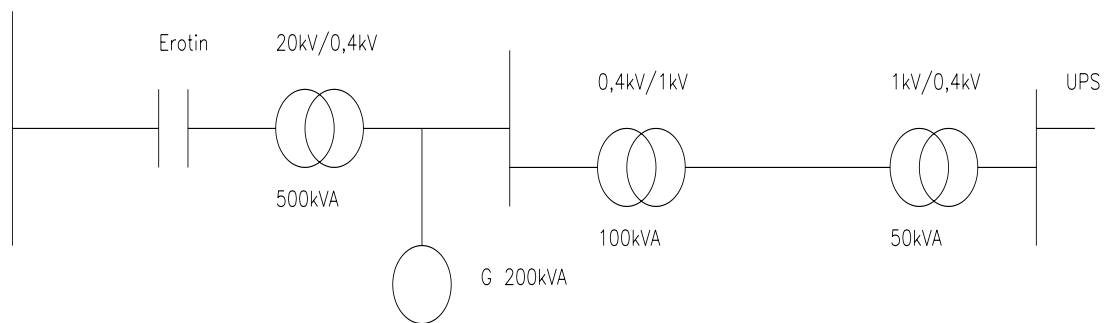
Yhtiöllä on 250 km 20 kV:n K_j-verkkoa: 100 km avoimella maalla, 50 km yleisten teiden varsilla, 50 km metsässä vaikeassa maastossa omine linjastoväylineen ja 50 km metsässä helpommassa maastossa omine linjastoväylineen. Yhtiön avojohtoverkkojen alle on vaikeimmissakin paikoissa pyritty rakentamaan teitä. Kesällä työntekijät pääsevät autoilla lähes koko jakeluverkon alueelta vikapaikalle. Talvella se tapahtuu moottorikelkalla tai telakuorma-autolla. Ekfors Kraftin sähköjakeluverkko on liitteenä 1. /2/

Ekfors Karftilla on kaksi pientä vesivoimalaa. Vesivoimalat ovat 800 kW:n ja ne on rakennettu vuosina 1958 -1961. Vesivoimaloiden turbiinit ja generaattori on kunnostettu samoin uudet putket padoilta turbiineille. Vesivoimalat sijaitsevat kylässä nimeltä Ekfors. Ekforsissa on myös toinen yhtiölle tulevista 20 kV:n muuntamoasemista ja toinen on Haaparannalla. Vesivoimalat ovat kuitenkin niin pienitehoisia, ettei yhtiö niiden käydessäkään pärjää ilman ostettavaa sähköenergiaa. /2/

3. ALUEEN KUVAUS

3.1. Kaavoitus

Alue sijaitsee Övertorneålla. Alueeseen kuuluu Övertorneån kylän keskustaa ja vähän sen ulkopuolella olevaa teollisuusaluetta. Alueella on rakennuksia ja katuja, joten se on osin melko vaikearakenteista ajatellen kaapeliteitä. Alue on pinta-alaltaan noin 1 km²:n laajuinen. Kaavoitusalue, muuntajat, kaapelitiet, rakennukset ja piha-alueet ovat liitteessä 2. Liitteeseen 2 on piirretty 1 kV:n kaapeli ohuella viivalla sekä 20 kV:n keskijännitekaapeli vahvemmalla viivalla. Kuvassa 1 on esitetty yksinkertaistettu piirikaavio, missä näkyy kaavoitusalueen muuntajat sekä varavoimageneraattori.



Kuva 1. Suunnittelualueen piirikaavio

3.2. Rakennukset ja niiden nykyinen kulutus

Alueeseen ja sähkönjakelusuunnitelmaan kuuluu kolme rakennusta, jotka ovat kahden hallirakennuksen lisäksi toimistorakennus. Hallit ovat 400 m² ja 500 m². Toimistorakennus on 200 m² kahdessa kerroksessa + kellari. Hallit, joita työssäni merkitsen 1 ja 2 on esitetty kuvassa 2 ja 3. Hallit sijaitsevat teollisuusalueella. Toimistorakennus 3 on esitetty kuvassa 4 ja tämä sijaitsee kylän keskustassa. Nämä näkyvät liitteen 2 kartassa. Hallien ja toimistorakennuksen etäisyys on 800 m.



Kuva 2. Hallirakennus 1 (Piirikaavion piste 2)



Kuva 3. Hallirakennus 2 (Piirikaavion piste 2)



Kuva 4. Toimistorakennus 3 (Piirikaavion piste 3)

Hallirakennukset

Hallirakennusten nykyinen sähkönkulutus on hallissa 1 50 000 kWh/a ja hallissa 2 55 000 kWh/a

Nykyiset pääsulakkeet ovat hallissa 1 80 A ja hallissa 2 80 A

Toimistorakennus

Toimistorakennuksen 3 nykyinen sähkönkulutus on 50 000 kWh/a.

Nykyinen pääsulake on toimistossa 63 A.

4. YLEISTÄ TYÖN SÄHKÖVERKOISTA

Sähköenergiaa siirretään paikasta toiseen johdoissa. Tähän sähköenergian siirtämiseen voidaan käyttää maakaapeleita tai ilmajohtimia. Tässä työssä energian siirtoon käytetään ainoastaan maakaapeleita. Maakaapeliennkäyttö ilmajohtimiin verrattuna on kalliimpaa, mutta vikatilanteita on vähemmän ja se on luontoystävällisempää. Maakaapeleilla ovat suuremmat korjausviiveet vian sattuessa eli vian paikantaminen ja löytäminen/ vian korjaus vaatii usein enemmän aikaa kuin ilmajohtoverkoissa.

4.1. 20 kV:n keskijänniteverkko

Keskijänniteverkoksi kutsutaan 1 kV:n – 70 kV:n jännitealueeseen kuuluvia sähköverkoja. Kj siirtää sähköön suurjänniteverkosta pienjänniteverkon jakelumuuntajille. Ekfors Kraft -sähköyhtiön siirtoverkosto koostuu pelkästään keskijänniteverkosta, jota syötetään Haaparannan ja Ekforsin sähköasemilta. Yleensä pienemmät voimalaitokset, kuten Ekforsissa sijaitsevat voimalaitokset, syöttävät sähkönsä tähän verkkoon. Teollisuuslaitokset ja suuret julkiset liikerakennukset liitetään suoraan keskijänniteverkkoon ja ne käyttävät omia muuntokeskuksia.

Kj-verkko on joko maasta erotettu tai sammutettu sammutuskuristimen kautta. Sähköasemien keskijänniteverkkolähtöjen suojina ovat katkaisijat ja niihin liitetyt ylivirtarele, maasulkurele ja jälleenkytkentärele. Avojohtoverkoissa ei ole käytössä ylivirtasuojasta kuormituksen suhteen, ylivirtarele toimii oikosulkusuojana. Kj-verkkoa käytetään säteittäisenä, vaikka se onkin usein rakennettu silmukoiduksi. /6/

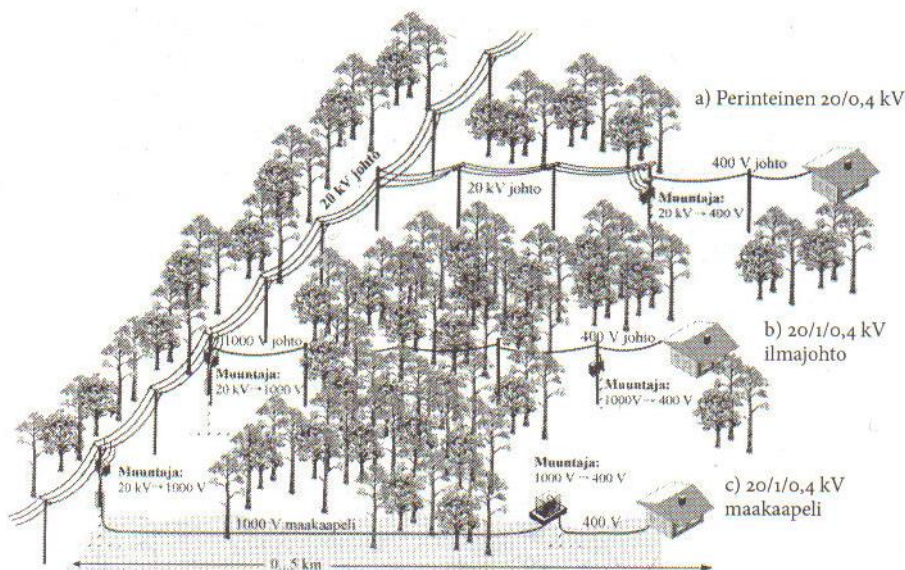
Kj-verkko vaikuttaa olennaisilta osin verkon käyttövarmuuteen. Yli 90 % kuluttajien sähkökatkoista johtuu keskijänniteverkon vioista. /6/

Maaseudulla keskijänniteverkko on yleensä rakennettu avojohtoina. Varayhteyshmahdollisuuksia ei juuri ole, koska johdot täytyy rakentaa sinne, missä kulutustakin tarvitaan. Taajamissa sen sijaan keskijänniteverkko on usein rakennettu maakaapeleilla ja verkostot menevät lähellä toisiaan. Täällä verkkotopologiakysymykset ja suunnitteluohjeistot ovat tärkeämpiä. Keskeisiä asioita ovat kaapeliverkon muoto ja maksimikuormitusasteet sekä lähtöjen ja sähköasemien korvattavuudet. Nämä asiat tarjoavat sähköjakelulle paljon erilaisia mahdollisuuksia, esim. varasyöttöjen toteuttamisen suhteen. /6/

4.2. 1 kV:n ja 0,4 kV:n pienjänniteverkko

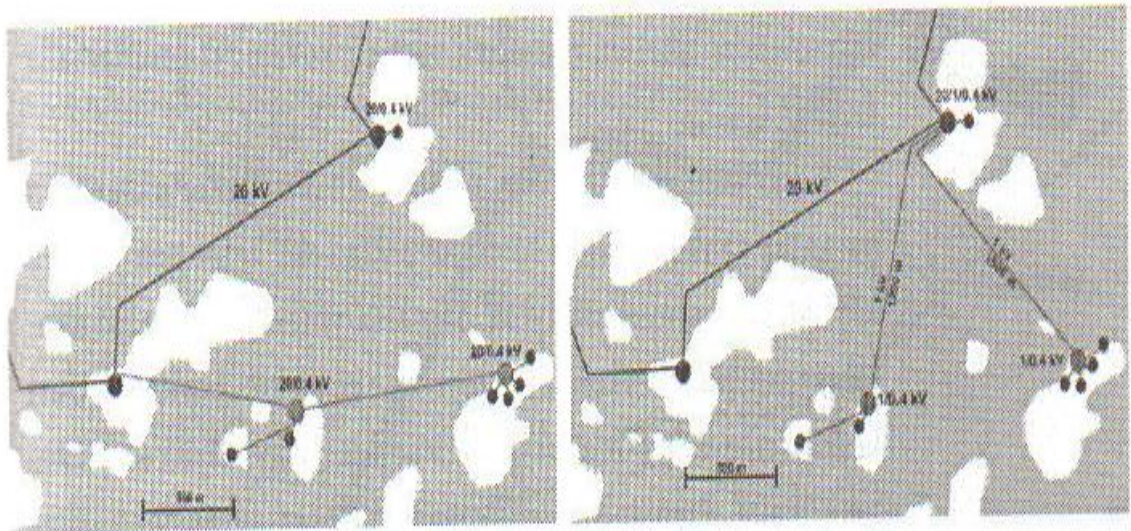
Lopullisesta sähköjakelusta kuluttajille vastaa Pj-verkko, jonka jännite SFS-50160:n mukaan on $230\text{ V} \pm 10\%$. Keskijännite muunnetaan 230/400 volttiin ja sitä kautta kotitalouksille, liikerakennuksille ja virastoille toimitetaan sähköä. Pj- verkot ovat säteittäisiä. Jakelumuuntajat sijaitsevat yleensä vain satojen metrien päässä kulutuspaikoista. Maaseudulla muuntajat ovat yleensä pylväsmuuntajia, joissa ilmajohto tulee erottimen tai sulakkeiden kautta muuntajille. Taajamissa ja kaapeliverkoissa taas käytetään puistomuuntajia tai kellarimuuntajia. Taajamissa jakelumuuntamo toimii usein keskijännitekaapelirenkaan osana. Pj- verkkojen vikavirta- ja ylikuormitus suojaus hoidetaan jakelumuuntamoilla. Tämä tapahtuu yleensä lähdeissä olevilla sulakkeilla. /6/

Yleiseksi pienjännitetasoksi onkin vakiintunut 230/400 VAC, jonka nimellistaajuus on 50 Hz. 2000-luvulle siirryttäessä on pikku hiljaa alettu käyttää toistakin pienjänniteporrasta eli 557/1000 VAC. Tätä 1 kV:n jännitettä käytetään ainoastaan sähkötehonsiirtämiseen ja kuluttajien jännite pysyy edelleen 0,4 kV:n suuruisena. Tämän uuden jänniteportaan ansiosta parannetaan kuluttajien sähkölaatua, koska sähköä voidaan siirtää suuremmalla jännitealueella pitempiä matkoja pienemmällä jännitteen alenemalla. Kun perinteisellä 400 V:n tekniikalla sähkönsiirto jää liian suuren jännitteen aleneman ansiosta alle kilometriin, voidaan 1000 V:n järjestelmää käyttäen syöttää 1-5 km:n päässä olevia asiakkaita. Uuden jänniteportaan 20 kV:n ja 0,4 kV:n väliin muodostaman haarajohdon oman suojausalueen ansiosta useat vikatilanteiden vaikutusalueet pienenevät. Sähkönsiirtokustannukset pienenevät kuten myös maisemahaitat katoavat. 1 kV:n -kaapelina ja järjestelmänä voidaan käyttää samaa kuin nytkin käytetään 0,4 kV:n jakeluverkoissa, joka on paljon edullisempaa, kuin 20 kV:n vastaavat kaapeli ja järjestelmät. 1 kV:n Pj-verkon komponentteina voidaan siis käyttää nykyisiä 0,4 kV:n komponentteja, koska nämä on suunniteltu kestäväksi 1 kV:n jännitteelle. 1 kV:n tekniikkaa on esitetty kuvassa 5. /6/



Kuva 5. 1000 V:n tekniikka pienitehoisten 20 kV:n keskijännitehaarojen korvaajana /6/

Tyypillisiä teknistaloudellisia käyttökohteita 1000 V:n johdoille korvaamaan 20 kV:n johtoja ovat ilmajohtoverkot joiden haarajohtojen siirtoteho on alle 60 kW ja siirtomatka 1-5 km:n välissä tai maakaapeliverkot, joiden haarajohtojen siirtoteho on alle 100 kW ja siirtomatka 1-5 km:n välissä. Taloudellisin ratkaisu syntyy yleensä käyttämällä 20/1/0.4 kV:n kolmikäämimuuntajaa. Tällaisissa muuntopiireissä runkojohtona on 1000 V:n johto, johon liittyy useita 1/0,4 kV:n muuntajia. Kuvassa 6 on esitetty kolmikäämimuuntajan käyttöä. /6/



Kuva 6. Saaristoalueen asiakkaat 20/0,4 kV:n ja 20/1/0,4 kV:n ratkaisulla /6/

5. TEHOJEN LASKEMINEN

Sähköliittymän mitoitus on teknis-taloudellinen optimointitehtävä. Mitoituksessa on huomioitava sähkön saannin varmuus, tulevaisuuden tehon tarpeet ja mahdolliset muutokset. Ei myöskään ole järkevää ylimitoittaa taloudellisuutta silmälläpitäen.

Liittymän mitoitukseen vaikuttavat rakennuksen käyttötarkoitus mutta myös käytön lisäksi järjestelmä- ja laitevalinnat. Näillä seikoilla on myös suuri merkitys elinkaarikustannuksissa ja ympäristövaikutuksissa. /10/

Suomen sähkölaitosyhdistys ry:n (nykyinen energiateollisuus) julkaisussa SA 4:92 ”pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen” esitetyt asuinrakennuksen huipputehon laskentamallit perustuvat erilaisten rakennusten sähkönkäytön vuodesta 1983 alkaneiden kuormitusmittausten tuloksiin. Niiden perusteella tehtyjen tilastollisten tarkastelujen avulla on laadittu laskentamallit kerros-, rivi- ja omakotitalojen huipputehon laskemiseksi. Mallit on laadittu siten, että tuloksena saatu huipputeho ylitetään korkeintaan 1 %:ssa tapauksista. Laskentamallit on esitetty taulukossa 1. /12/

Taulukko 1. Suomen sähkölaitosyhdistys ry:n (nykyinen sähköenergialiitto Sener) julkaisemat laskentamallit asuinrakennuksen huipputehon määrittämistä varten /10/

Asuinrakennukset:			Huomautuksia
Kerros- ja rivitalot:		Huipputeho [kW]	$A_{krs} = \text{kerrosala} [m^2]$
1	Ilman kiukaita	$P_{max} = P_{va} + 17 * A_{krs} / 1000$ $P_{va} = 65 \text{ kW}$	Soveltuu, jos A_{krs} on vähintään $2500 m^2$. Pienemmissä P_{va} korvataan arvolla: $P_v = A_{krs} / 2500 * P_{va}$ P_v vähintään 30 kW
2	Huoneistokohtaiset kiukaat	$P_{max} = P_{va} + 24 * A_{krs} / 1000$ $P_{va} = 90 \text{ kW}$	
Pienet rivitalot:		Huipputeho [kW]	Rivitalot, joissa 5-15 huoneistoa. $A_{l\ddot{a}m} = \text{l\ddot{a}mmitetty pinta-ala}$
1	Ei s\ddot{a}hk\ddot{o}l\ddot{a}mmityst\ddot{a}, kiuas on	$P_{max} = 30 + 26 * A_{l\ddot{a}m} / 1000$	
2	Suora s\ddot{a}hk\ddot{o}l\ddot{a}mmitys, kiuas	$P_{max} = 30 + 64 * A_{l\ddot{a}m} / 1000$	K\ddot{a}ytt\ddot{o}veden l\ddot{a}mmitys jatkuvana tai y\ddot{o}ll\ddot{a}
3	Suora s\ddot{a}hk\ddot{o}l\ddot{a}mmitys, kiuas tai kiuas varaus	$P_{max} = 30 + 49 * A_{l\ddot{a}m} / 1000$	K\ddot{a}ytt\ddot{o}veden l\ddot{a}mmitys y\ddot{o}ll\ddot{a}
Omakotitalot ja eritt\ddot{a}in pienet rivitalot:		Huipputeho [kW]	Maksimi 4 rivitalohuoneistoa tai omakotitalot.
1	Ei s\ddot{a}hk\ddot{o}l\ddot{a}mmityst\ddot{a}, kiuas on	$P_{max} = 7,5 + 26 * A_{l\ddot{a}m} / 1000$	
2	Suora s\ddot{a}hk\ddot{o}l\ddot{a}mmitys, kiuas	$P_{max} = 7,5 + 64 * A_{l\ddot{a}m} / 1000$	K\ddot{a}ytt\ddot{o}veden l\ddot{a}mmitys jatkuvana tai y\ddot{o}ll\ddot{a}
3	Suora s\ddot{a}hk\ddot{o}l\ddot{a}mmitys, kiuas tai kiuas varaus	$P_{max} = 7,5 + 49 * A_{l\ddot{a}m} / 1000$	K\ddot{a}ytt\ddot{o}veden l\ddot{a}mmitys y\ddot{o}ll\ddot{a}
Paikoitusalueet:			$N_{auto} = \text{l\ddot{a}mmitettyjen autopaikkojen lkm.}$ $P_{pys} = \text{pys\ddot{a}k\ddot{o}intialueen huipputeho [kW]}$
1	Pys\ddot{a}k\ddot{o}intialue	$P_{pys} = 10 + 0,5 * N_{auto}$	

Huomautukset: Liittymisjohdon virtaa m\ddot{a}\ddot{a}ritelt\ddot{a}ess\ddot{a} tulee huomioida kuormituksen tehokerroin $\cos \varphi$. Jos loistehon osuus on v\ddot{a}h\ddot{a}inen, voidaan $\cos \varphi = 0,96$.

Huipputehon P_{hmax} arviointitavat eli huipputehon laskentamallit pohjautuvat peruskuormaan ja pinta-alasta riippuvaan kuormitukseen eli pinta-alatehoon sek\ddot{a} s\ddot{a}hk\ddot{o}laitteiden samanaikaisen k\ddot{a}yt\ddot{o}n todenn\ddot{a}k\ddot{o}isyyden arviointiin. /12/

Asuinrakennukset, joille on tehty laskentataulukot niiden tutkittuja arvoja lukuun ottamatta. Pj-liittymän tehonmitoitus pitäisi tehdä tapauskohtaisesti.

Pj-liittymien mitoittava sähköteho voidaan laskea kaavalla:

$$P_{\text{mitoitava}} = 1,3 * (P_{\text{ilmanvaihto}} + P_{\text{valaistus}} + P_{\text{muutlvi-laitteet}} + P_{\text{kojeet+laitteet}} + P_{\text{sähkölämmitys}} + P_{\text{muut}}) \quad (1)$$

1,3 on kerroin, jolla varaudutaan tulevaisuuden järjestelmällisyyksiin ja mahdolliseen sähkön tarpeen nousuun. /10/

Nykyään Pj-liittymien tehontarpeen mitoituksessa käytetään usein kuormitusmalleja. Kuormitusmallit on tehty tutkimalla eri sähkökäyttäjien sähkökäyttötottumuksia. Tämän profiloinnin tavoitteena on laatia ns. kuormitusmallit, jotka kuvaavat kuluttajien määrällisesti ja ajallisesti vaihtuvaa sähkönkulutusta. Näiden mallien avulla pystytään arvioimaan yksittäisen sähkökäyttäjän tuntikohtainen tehon tarve. /6/

6. KUORMITETTAVUUDET

Jakeluverkon rakenteen muuttaminen kolmijänniteportaiseksi vaatii uudenlaisia jakelumuuntajia. Muuntajilla on keskeinen asema verkon taloudellisessa kannattavuudessa. Koska 20/1/0,4 kV:n järjestelmä vaatii enemmän muuntajia kuin perinteisesti on tarvittu, tulee muuntajista aiheutuvista kustannuksista aiempaa tärkeämpi osa jakeluverkon kokonaiskustannuksista. Uusina komponentteina jakeluverkkoon tulevat 1/0,4 kV:n muuntajat ja 20/1 kV:n muuntajat. Kaikkien muuntajien valmistuksen ohjenuoraksi soveltuu standardi IEC 60076. /13/

Jakelumuuntajilta edellytetään normaalisti vinokuorman sietokykyä. Tällöin suositeltaviksi muuntajien kytkentäryhmiksi jää Dyn -ja Yzn-kytkennät. Koska 1000 V:n järjestelmässä on kaksi perättäistä jakelumuuntamoaa (20/1 ja 1/0,4 kV:n), on jakelumuuntajien kytkentäryhmien ja verkon käyttötavan valintaan kiinnitettävä erityistä huomiota. Jännitteen säätö muuntajissa on erityisen tärkeää sähkön siirto- ja jakeluverkoissa. Jännitettä on pystyttävä säätämään verkon kuormituksen mukaan. Jännitteen säätäminen tapahtuu muuntajan muuntosuhdetta muuttamalla. Muuntosuhteen muuttamiseksi on vaihdettava käämikierrosten lukumäärää, yleensä tämä tehdään yläjännitepuolen käämityksille alajännitepuolta pienemmän virran vuoksi. Jakelumuuntajissa jännitteen kasvatus tai pienennys toteutetaan väliottokytkimen avulla. /13/

6.1. Jakelumuuntajan kuormitettavuus

Muuntajan normaali käyttöikä määräytyy siitä ajasta, jonka muuntaja kestää jatkuvalla nimelliskuormalla kuormitettuna jäähdytysilman ollessa +20 °C:ta. Käytännössä muuntajan kuorma on vaihteleva, jolloin pienekuorman aikana vanheneminen on hitaampaa. Tästä johtuen muuntajaa voidaan suuren kuorman aikana kuormittaa yli nimelliskuorman eristysten vanhenemisnopeuden pysyessä normaalina. Kuormitussuhde ei kuitenkaan saisi ylittää 1,5*Sn, milloin muuntaja on 50 % ylikuormassa. Käämin kuumin piste ei myöskään saa ylittää +140 °C:ta. /7/

Muuntajille voidaan määrittää hätäkuormitettavuus poikkeuksellisissa olosuhteita varten. Erityisen vanhenemisnopeuden sallitaan näissä tapauksissa olevan suurempi. Rajoituksena on, että käämin kuumimman pisteen lämpötila ei ylitä +115 °C:ta. /7/

Taulukoiden 2 ja 3 arvot on laskettu kansainvälisen standardin IEC 354 (1972) mukaan. Muuntajat ovat tavallisia ilmajäähdytyksellä ja öljykiehroilla toimivia. /7/

Taulukossa 2 on esitetty kuormitettavuuksia eri kuluttajaryhmien kuormituskäyrämuodoilla. Taulukossa on laskettu muuntajan vanheneminen koko vuonna ottaen huomioon kuormituksen ja lämpötilojen vaihtelut. Esitetyt arvot pätevät, kun kuormituksen huippu osuu talveen. /7/

Taulukko 2. Jakelumuuntajan kuormitettavuus (kuorman suhde nimellistehoon) /7/

Muuntopiiri	Muuntamotyyppi		
	Pylväsmmo	Puistommo	Kiinteistömmo
Pientaloalue, sähkölämmitys	1,5	1,4	1,2
Kerrostaloalue	1,5	1,4	1,2
Keskusta-alue	1,4	1,3	1,0
Teollisuusalue	1,4	1,3	1,0
Maaseutualue	1,5	1,4	1,2

Taulukossa 3 on muuntajan hätäkuormitettavuusarvoja eri lämpötiloissa laskettuna. Eristeiden vanhenemisnopeudet ovat moninkertaiset normaaliin verrattuna. Muuntajaa ei tämän vuoksi ole syytä kuormittaa taulukon arvoilla kauempaa kuin mitä verkossa tarvittavat vahvistus- ja korjaustoiminnot vaativat. /7/

Taulukko 3. Jakelumuuntajan hätäkuormitettavuus (kuorman suhde nimellistehoon) /7/

Muuntopiiri	Muuntamon lämpötila			
	-20 ⁰ C	0 ⁰ C	+20 ⁰ C	+40 ⁰ C
Pientaloalue, sähkölämmitys	1,6	1,5	1,4	1,2
Kerrostaloalue	1,7	1,6	1,4	1,3
Keskusta-alue	1,6	1,5	1,4	1,2
Teollisuusalue	1,7	1,6	1,5	1,3
Maaseutualue	1,7	1,6	1,4	1,3

6.2. Kaapelien kuormitettavuus

Johdon kuormitettavuus kuvaa sitä virtaa, joka johdossa voi eri asennusolosuhteissa kulkea lämmittämättä sitä liikaa. Kuormitettavuuteen vaikuttavat tekijät ovat johdon asennustapa, ympäristön lämpötila sekä vierekkäisten johdinten lukumäärä.

Tarkkaa mitoitusta ei kaapelin kuormitettavuudelle ole, joten useimmissa tapauksissa selviää käyttämällä taulukon 4 mukaisia kuormitettavuusarvoja. Taulukko sisältää arvot uppoasennukselle (asennustapa A), pinta-asennukselle (asennustapa C), maa-asennukselle (asennustapa D) ja vapaasti ilmaan tehtävälle asennukselle (asennustapa E). Arvot on esitetty PVC-eristeisille kolmivaihepiireille, jolloin niitä voidaan käyttää myös yksivaihepiireille sekä PEX-eristeisille kaapeleille. Tarkempaan mitoitusta tavoiteltaessa voidaan yksivaiheisille kaapeleille käyttää suurempia virta-arvoja ja PEX-eristeisille kaapeleille suurempaa sallittua lämpötilaa. Kuitenkin useimmat kaapelin valmistajat suosittelevat ettei PEX-eristeisillä kaapeleilla käytettäisi 70 °C suurempaa mitoitustilaa. /12/

Erilaisten Pj-kaapeleiden kuormitettavuuksia on liitteessä 4.

Taulukko 4. Johtojen kuormitettavuudet (A) eri asennustavoilla /9/

Johtimien nimellispoikkipinta (mm ²)	SFS 6000:n mukaiset asennustavat			
	A	C	D	E
Kupari				
1,5	14	18,5	26	19
2,5	19	25	35	26
4	24	34	46	36
6	31	43	57	45
10	41	60	77	63
16	55	80	100	85
25	72	102	130	107
35	88	126	160	134
50	105	153	190	162
70	133	195	240	208
95	159	236	285	252
120	182	274	325	292
150	208	317	370	338
185	236	361	420	386
240	278	427	480	456
300	316	492	550	527
Alumiini				
16	43	62	78	65
25	56	77	100	83
35	69	95	125	102
50	83	117	150	124
70	104	148	185	159
95	125	180	220	194
120	143	209	255	224
150	164	240	280	260
185	187	274	330	297
240	219	323	375	350
300	257	372	430	404

7. SUOJAUKSET

7.1. Keskijänniteverkon suojaukset

Keskijänniteverkon erikoispiirteitä ovat säteittäinen syöttötapa sekä tähtipistemaadoitusten ja nollajohtimen puuttuminen. Säteittäinen syöttötapa helpottaa selektiivisen suojauksen toteuttamista. Tähtipistemaadoitusten ja nollajohtimien puuttuminen taas tekee keskijänniteverkon maasulusta oikosulusta poikkeavan vian, jonka tunnistaminen ja paikantaminen vaatii oman tekniikkansa. /6/

7.1.1. Keskijänniteverkon oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojauksen tavoitteena on ehkäistä oikosulkuvirran johdoille ja laitteille aiheuttamat lämpenemisvauriot sekä erottaa vioittunut johto-osa verkosta. Toisena tavoitteena on taata järjestelmän turvallisuus myös vikatilanteissa sekä käyttäjille että ulkopuolisille. Tähän suojauksen toteuttamiseen käytetään vakioaikaylivirtareleitä. Rele sisältää usein isoilla virroilla hetkellislaukaisun aikaansaavan toiminnon. Samat releet toimivat myös ylivirtasuojina. /6/

Avojohtoverkoissa ylikuormitus on harvinaista, koska johtimella on niin hyvä lämmönluovutus. Tässä tapauksessa havahtumisvirran asetteluarvo on valittava siten, että rele toimii noin kaksinkertaisella kuormitusvirralla mutta myös johtoverkon loppupäässä tapahtuvassa kaksivaiheisessa oikosulussa. Kaapeliverkoissa havahtumisen pitää tapahtua viimeistään kuormitettavuuden tullessa vastaan. Jos kuormitusta seurataan valvotun kaukomittauksen avulla, suurempikin virranasetteluarvo tulee kysymykseen. Oikosulkuvirran suojauksen tulee tällöinkin havahtua. /6/

Hetkellislaukaisulla pystytään varmistamaan, etteivät sähköaseman läheisten johto-osien oikosulkukestoisuudet ylity. Samalla myös syvien jännitekuoppien kestoajat lyhenevät. Muutaman kiloampeerin asetteluarvo on sopiva hetkellislaukaisulle. Sähköaseman pääkatkaisijassa käytetään myös hetkellislaukaisua suojaamaan kiskostoa mahdollisissa kiskosto-oikosuluissa. Pääkatkaisijan hetkellislaukaisu toimisi myös keksijännitelähdöissä tapahtuvissa oikosuluissa, ellei lähdön suojareleen havahtuminen estäisi tätä. Tällaisella lukitsemisella varmistetaan suojauksen selektiivisyys myös kaikissa nopeissa laukaisuissa. Hetkellislaukaisu vaatii virtamuuntajilta hyvää toistokykyä myös suurilla virroilla. Kytkevävirtasysäykset saattavat aiheuttaa releistyksen turhankin toiminnan, jollei asiaan ole kiinnitetty huomiota. /6/

Toisinaan johdoilla on katkaisijoita muuallakin kuin syöttävän sähköaseman kennoissa. Tällaisen ns. välikatkaisijan toimiminen takanaan tapahtuvassa oikosulussa toteutetaan ylivirtareleiden aikaselektiivisyydellä eli asettamalla välikatkaisijaan lyhyempi laukaisu-aika kuin kennon katkaisijaan. /6/

Oikosulkukestoisuutta tarkistettaessa on otettava huomioon mahdollinen pikajälleenkytkennän (pjk) vaikutus. Johtimia lämmittäväksi ajaksi tulee siis pikajälleenkytkentää edeltävän ja sen jälkeisen oikosulkujen kestojen summa (aika t_1 yhtälössä (2)) eli releen aseteltujen hidastusaikojen summa lisättynä kunkin katkaisutoiminnon releen havahtumis- ja katkaisutoiminta-ajoilla. Varsinkin isoilla johtimilla ja maakaapeleilla on aikajälleenkytkennällä tuntuva vaikutus. Huomattavaa on myös, että lämpenemävaurioita voidaan aiheuttaa myös kauko-ohjauksella kytkemällä oikosulussa oleva johto lyhyen jäähtymisajan jälkeen. /6/

Ajk:n jännitteettömänä aikana tapahtuva jäähtyminen otetaan huomioon laskemalla nk. oikosulkuvirran ekvivalenttinen vaikutusaika t yhtälöstä (2).

$$t = t_1 * e^{-t_0/\tau} + t_2 \quad (2)$$

missä

t_1 on oikosulunkesto aika ennen ajk:n jännitteetöntä aikaa, eli releen aseteltujen hidastusaikojen summa lisättynä releen aseteltujen hidastusaikojen summa lisättynä releen havahtumis- ja katkaisijan toiminta-aikojen summalla

t_0 on ajk:n jännitteetön aika

τ on johtimen jäähtymisvakio

t_2 on ajk:n jälkeinen oikosulunkesto aika

Pikajälleenkytkentä on hyödyllinen ohimenevien valokaarivikojen selvittämisessä. Siksi sitä ei yleensä käytetä maakaapeliverkossa, koska maakaapeliverkkojen maasulkuviat ovat yleensä pysyviä. /6/

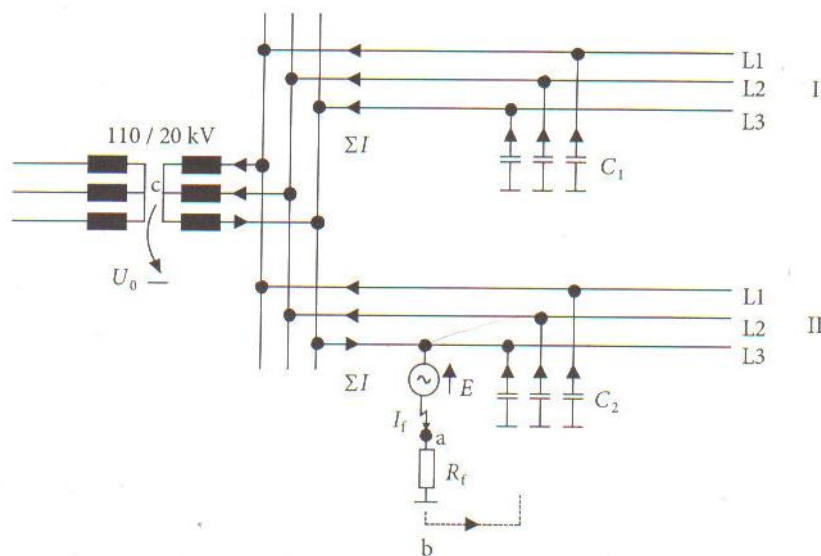
Oikosulku aiheuttaa vikapaikassa jännitteen putoamisen nolleen, jolloin se aiheuttaa jännitekuopan myös muualle verkkoon. Etenkin sähköasemien lähellä sattuvat oikosulut ovat haitallisia, koska kaikki aseman asiakkaat kokevat jännitekuopan. Jännitekuopan pituus riippuu oikosulkusuojuuksen toiminta-ajasta. Nopeasti toimiva suojaus pienentää jännitekuopan kestoa, jolloin asiakkaiden laitteet voivat selvitä kuopasta häiriintymättä. Jännitekuoppien kannalta päämuuntajan kannattaa olla mahdollisimman iso, jolloin kuopan aikana oleva jäännösjännite on mahdollisimman suuri. Jännitekuoppien lukumäärää voidaan vähentää lisäämällä päämuuntajien lukumäärää, koska sähköaseman lähdöt saadaan jaettua eri päämuuntajien syöttämiksi. /6/

7.1.2. Keskijänniteverkon maasulkusuojaus

Keskeisin syy maasta erotetun keskijänniteverkon käyttöön on huonoista maadoitusolosuhteista aiheutuva kosketusjänniteongelma. Maasulku aiheutuu usein vaihejohtimen valokaaresta tai kosketuksesta suojamaadoitettuun osaan. Näissä tilanteissa kosketusjännitteen suuruus riippuu maasulkuvirrasta ja suojamaadoituksen resistanssista. Sallitun kosketusjännitteen määrittämisessä pyritään arvoon, jolla vältettäisiin sähköiskutilanteessa hengenvaarallinen sydänkammiovärinän syntyminen. /6/

Maasta erotetun verkon maasulkutilanteessa verkon kaikkien vaiheiden ja verkon tähtipisteen jännitteet muuttuvat ja verkon eri osissa esiintyy johtojen maakapasitanssien kautta kulkevia kapasitiivisia vikavirtoja.

Tähtipisteestään maasta erotetussa verkossa maasulkuvirralla on kulkureitti vikapaikasta maahan (useasti vikaresistanssien kautta), johtojen maakapasitanssien ja vaihejohtimien impedanssien kautta 110/20 kV:n päämuuntajan käämityksiin ja sieltä viallisen vaiheen impedanssin kautta vikapaikalle (kuva 7). /6/

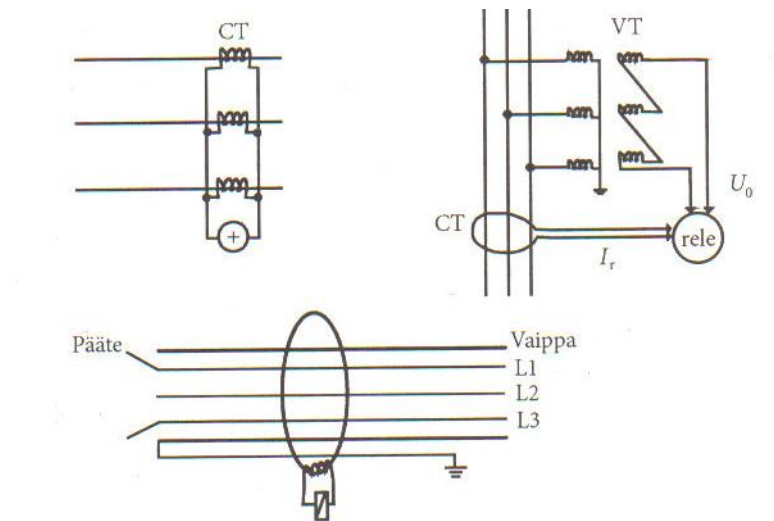


Kuva 7. Maasta erotetun kolmivaihejärjestelmän yksivaiheinen maasulku

Johtimien ja muuntajakäämien impedanssit (muutamia ohmeja) ovat vaihejohtimien maakapasitansseihin C (satoja tai tuhansia ohmeja) nähden hyvin pieniä ja ne voidaan olettaa nolllaksi maasulkulaskelmissa.

Maasta erotetussa verkossa maasulkusuojausta ei voida perustaa oikosulkusuojausten tavoin ylivirtasuojien käyttöön. Vikavirta on pieni joskus kuormitusvikavirtaakin pienempi. Mahdollisia maasulun indikaattoreita on kuitenkin useita:

- perustaajuisen tähtipistejännitteen muutos
- perustaajuisen vaihejännitteen muutos
- perustaajuinen summavirta
- virran ja jännitteen yliaallot
- suurtaajuiset muutosvirrat.



Kuva 8. Summavirran ja tähtipistejännitteen mittaaminen

Maasulkusuojaus toteutetaan käytännössä kuvan 8 mukaisilla maasulkureleillä, jotka sijaitsevat yleensä sähköasemilla. Suojaus perustuu maasulun aiheuttamaan vaihevirtojen epäsymmetriaan ja tähtipistejännitteen kohoamiseen. /6/

7.2. Pienjänniteverkon suojaukset

Pienjänniteverkon suojauksella on tärkeä osa niin verkostokomponenttien suojaajana kuin myös hengen- ja palovaaran tehokkaana eliminoijana. Käytännössä tämä tarkoittaa siis varokesuojauksen ohella myös riittävää maadoitusten järjestämistä. Maadoitusten tehtävä on toimia ennen kaikkea vaarallisten kosketusjännitteiden potentiaalintasaajana.

Esimerkiksi jakelumuuntamon kipinävälissä syntyvä keskijänniteverkon maasulku aiheuttaa kaikkialla pienjänniteverkon PEN-johtimessa maadoitusjännitteen suuruisen jännitteen. Jos asianmukaista maadoitusta ei ole tehty, niin sähkön käyttäjällä voi esiintyä erittäin vaarallisia kosketusjännitteitä esim. sähkölaitteen maadoitetun kuoren ja maan välillä. Oikein tehdyillä maadoituksilla myös maan potentiaali sähkönkäyttäjän läheisyydessä nousee maadoitusjännitteen mukaiseen arvoon, eikä siis vaarallisia kosketusjännitteitä esiinny. /6/

7.2.1. Ylikuormitussuojaus

Ylikuormitussuojausta ei jakeluverkoissa vaadita maakaapeleilta eikä paljailta eikä itsestään sammuvilta johtimilta. AMKA-johdot sen sijaan pitää suojata ylikuormitukselta. Maakaapeliverkot on yleensä asennettu palonkestäviksi, jolloin ylikuormitussuojaa ei tarvita. Ainoastaan liittymiskaapelit saattavat vaatia paremman suojan. Pienjännitekaapelin suojaus voidaan tällöin toteuttaa taulukon 5 mukaisia sulakkeita käyttäen, jolloin kaapeleiden kuormitettavuus käytetään hyödyksi ilman vaurioitumisriskiä. Sulakkeen gG-tyypillä tarkoitetaan johdon sekä ylikuormitus- että oikosulkusuoja.

Taulukko 5. Pienjännitekaapelien suurimmat ylivirtasuojan nimellisvirrat gG- sulakkeilla
/6/

Kaapeli	Liittymisjohdot		Runkojohdot
	Kuluttajanpääsulake [A]	Liittymisjohdon oikosulkusulake [A]	Sulake [A]
AXMK 4*25	80	160	100
AXMK 4*35	100	250	125
AXMK 4*50	125	315	125
AXMK 4*70	125	400	160
AXMK 4*95	160	500	200
AXMK 4*120	200	630	250
AXMK 4*150	200	630	250
AXMK 4*185	250	800	315
AXMK 4*240	315	1000	400
AMCMK 3*25/16	80	160	100
AMCMK 3*35/16	80	200	125

7.2.2. Oikosulkusuojaus

Pienjänniteverkoissa syötön nopean poiskytkennän on tapahduttava pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran vaikutuksesta määräysten enimmäisajassa. Vikavirran pitää myös olla riittävä sulakkeen nopeaan palamiseen. Yksivaiheinen oikosulkuvirta lasketaan yhtälöllä 3.

$$I_{k1v} = \frac{3 * U_v}{\sqrt{(2R_m + R_{m0} + 3l(r_j + r_0))^2 + (2X_m + X_{m0} + l(2x_j + x_{j0} + 3x_0))^2}} \quad (3)$$

missä

U_v on vaihejännite

r_j on vaihejohtimen resistanssi

R_m on muuntajan oikosulkuresistanssi

x_j on vaihejohtimen reaktanssi

X_m on muuntajan oikosulkureaktanssi

x_{j0} on vaihejohtimen nolhareaktanssi

R_{m0} on muuntajan nolhareaktanssi

r_0 on nolajohtimen resistanssi

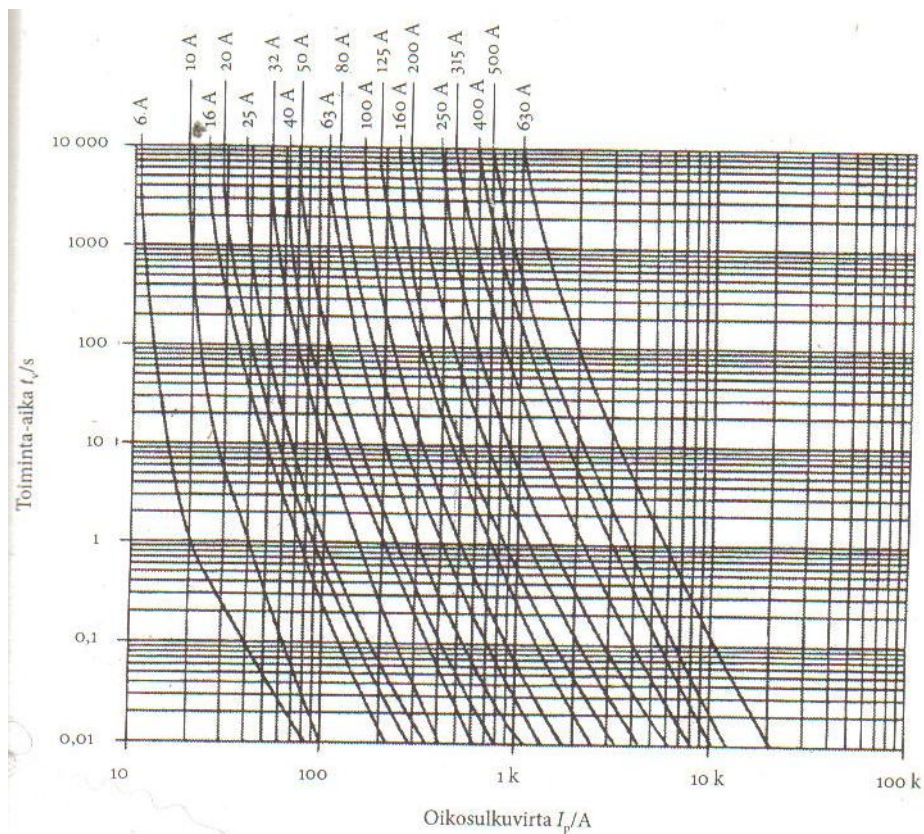
X_{m0} on muuntajan nolhareaktanssi

x_0 on nolajohtimen reaktanssi

l on johdonpituus

Pienillä kirjaimilla kirjoitetut suureet ovat pituusyksikköä kohti.

Kun tiedetään oikosulkuvirta, voidaan sulakkeen toiminta-aika lukea käyrästä. Kuvassa 9 on OFAA-mallisten kahvasulakkeiden toiminta-aikoja. Selektiivinen suojaus saavutetaan jättämällä verkon peräkkäisten sulakkeiden väliin yksi jänniteporras. /6/



Kuva 9. OFAA-mallisten gG-kahvasulakkeiden toiminta-ajat virran funktiona

Pienjänniteverkoissa oikosulku on yleisesti kytkettävä pois enintään viidessä sekunnissa. Taulukossa 6 on esitetty verkon pienimmän oikosulkuvirran ja automaattisen poiskytkennän suorittavan sulakkeen nimellisvirran I_N minimisuhde. Näillä arvoilla poiskytkentä saattaa ylittää viisi sekuntia, mutta johtimien erityisesti maakaapelien termien kestoisuus ei ole varmaa. Jos taulukon 6 arvot eivät ole voimassa, ei vian aikainen maahan nähden oleva jännite saa ylittää 75 V. Taulukossa 7 on myös esitetty sulakkeiden toiminta-aikoja.

Taulukko 6. Jakeluverkon automaattisen poiskytkennän minimioikosulkuvirrat gG-sulakkeille /6/

Ylivirtasuojaja	Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta jakeluverkossa
gG- sulake $I_N < 63$ A	$2,5 \cdot I_N$
gG- sulake $I_N > 63$ A	$3,0 \cdot I_N$

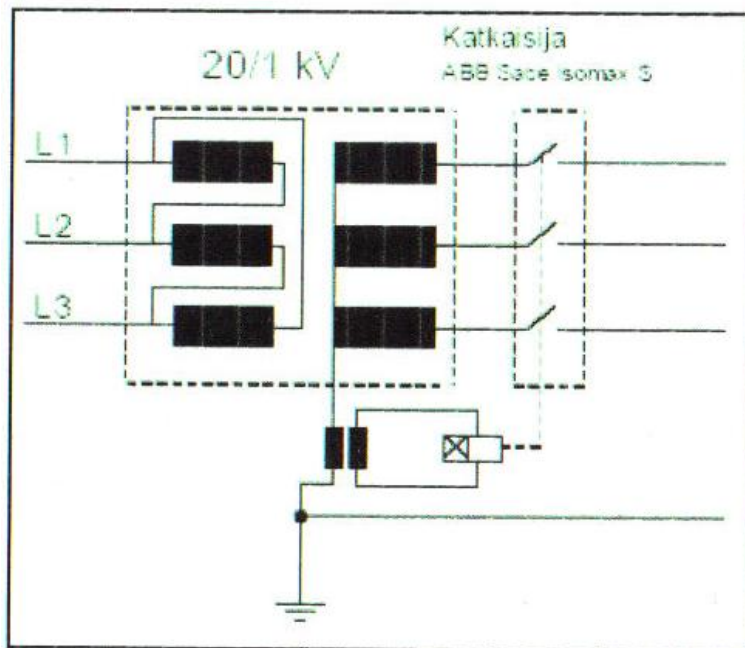
Monissa verkoissa on käytössä standardien suosittelema yksivaiheisen oikosulkuvirran minimi suositus, joka on 250 A pienjänniteverkoissa. Tällöin nopean suojauksen lisäksi myös jännitejähkyys on hyvä. /6/

Taulukko 7. gG-sulakkeiden toiminta-aikoja

gG sulakkeen nimellisvirta A	Toiminta-aika 0.4 s		Toiminta-aika 5 s	
	Toiminta virta A	Mitattu virta vähintään A	Toiminta virta A	Mitattu virta vähintään A
10	82	103	47	59
16	110	138	65	82
20	145	182	85	107
25	180	225	110	138
32	270	338	150	188
35	287	359	165	207
40	315	394	190	238
50	470	588	250	313
63	550	688	320	400
80	840	1050	425	532
100	1000	1250	580	725
125	1450	1813	715	894
160	1600	2000	950	1188
200	2100	2625	1250	1563
250	2800	3500	1650	2063

7.3. 1 kV:n verkon suojaus

1000 V:n järjestelmä tulee suojata omalla suojausyksiköllä. Tämä suoritetaan asianmukaisella katkaisijalla. Suojausyksikkö suojaa verkon ylikuormitukselta, oikosululta ja maasululta. Kuvassa 10 on piirikaavio, jossa näkyy katkaisijan peruserä ja kytkentä. Suojausyksikkö kytketään 20/1 kV:n tai 0,4/1 kV:n muuntajan 1000 V:n lähtöihin. Suojausyksikkönä käytetään Suomessa usein ABB:n Sace Tmax -katkaisijaa.



Kuva 10. Piirikaavio katkaisijan toiminnasta ja kytkennästä

Katkaisija koostuu jännitemuuntajasta, ylivirtasuojasta ja katkaisijasta. Komponentit ovat esillä kuvassa 11. Kuvasta huomataan, ettei 1 kV:n puolta ole kytketty maahan, vaan tähtipistejännite mitataan maata vasten. Katkaisija toimii maasulkutilanteessa tähtipistejännitteestä.



Kuva 11. Suojausyksikkö ja sen peruskomponentit: jännitemuuntaja, ylivirtasuoja, katkaisin ja 1 kV:n tähtipiste 20/1kV muuntajalta /16/

Tämän suojauksen katkaisuparametrit pitää asetella oikein jo ennen käyttöönottoa. Suojausyksiköllä on kaksi eri porrasta, kun katkaisu tehdään oikosulusta. Toinen toimii heti ja toinen voidaan säätää toimimaan hidastettuna. Hidastusta ei kuitenkaan saa laittaa toimimaan yli 5:s ajoilla, kun katkaisija toimii 100 – 800 A virroilla. /16/

7.3.1. Ylivirtasuojaus

Ylivirtasuojauksen toiminta ja toteutusesimerkki on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. 1 kV:n katkaisijan ylivirtasuojauksen toteutusesimerkki /16/

Vika	Virta	Katkaisuaika
Ylikuormitus	60A	18s (kohteesta riippuen)
Oikosulku (hidastettu)	100A	Maksimi 5s
Oikosulku (välitön)	800A	Heti (pikalaukaisu)

7.3.2. Maasulkusuojaus

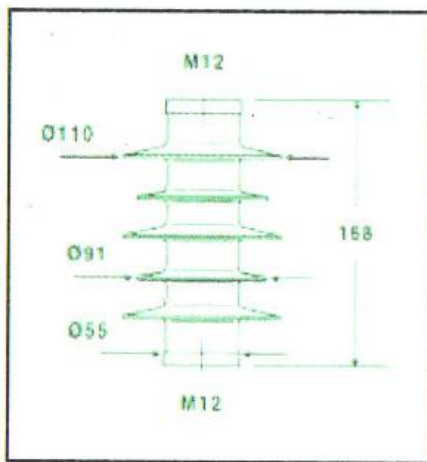
Maasulkusuojaus on jännitemittaukseen perustuva ja suojaus tapahtuu katkaisureleen avulla. Releen on mahdollista tehdä 1-5 sekunnin hidastus. Jännitemuuntajana käytetään 100 VA:n muuntajaa, jonka muuntosuhde on 575/230 V.

7.3.3. Ylijännitesuojus

Ylijännitesuojus on 1000 V:n järjestelmässä vähän vaikeaa. 1000 V on pienjännitteen yläraja ja kaikki suojat on rakennettu 1,3 kV:lle, jolloin ne ovat jo keskijännitesuojia. Tämä vaikuttaa siihen, että suojan rakenne on vähän raskaampi.

Ylijännitesuojana voidaan käyttää kuvan 12 Raychemin HDA-1N -ylijännitesuojaa, jolloin jännösjännitteet ovat melko pieniä. Jännösjännitteen yläraja on normaaliolosuhteissa maksimissaan 4,4 kV, joka on noin puolet katkaisijan kestävästä impulssijännitteestä, eikä näin ollen aiheuta vaaraa katkaisijalle.

Suojia käytetään eri yhtiöissä eri paikoissa. Joissakin yhtiöissä niitä käytetään suojaamaan 1/0,4 kV:n muuntajaa yläjännitepuolella. Jotkut käyttävät niitä 1 kV:n katkaisijan perässä suojaamassa herkintä komponenttia eli katkaisijaa takaapäin tulevilta ylijännitteiltä. Eli käytännössä suojaamaan katkaisijaa 1 kV:n linjaan iskeviltä salamilta. /16/



Kuva 12. Raychemin HDA-1N -ylijännitesuoja

8. SYMMETRISET KOMPONENTIT

Kun kolmivaihejärjestelmää ei voida olettaa symmetriseksi (eli laske yksivaiheisella sijaiskytkennällä), käytetään symmetrisiä komponentteja, joiden avulla saadaan epäsymmetrinen järjestelmä. Tässä tilanteessa epäsymmetrisen komivaihesuureen (esim. U_R) kuvaamiseen tarvitaan kolme symmetristä komponenttia (U_{R0} , U_{R1} ja U_{R2}) eli yksi osoitin kustakin vaihejärjestelmästä alla olevien kuvien mukaan. Laskuissa a on vaiheenkääntöoperaattori eli $a = 1 \angle 120^\circ$ ja $a^2 = 1 \angle 240^\circ$

Nollajärjestelmä on yksivaiheinen. Kaikki vaihesuureet ovat samansuuntaiset ja samenvaiheiset.

$$U_{R0} = U_{S0}$$

$$U_{R1} = U_{S0}$$

$$U_{R2} = U_{S0}$$



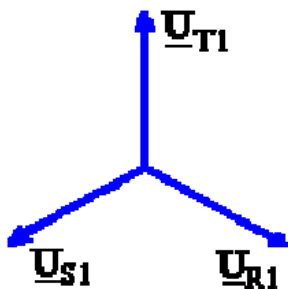
Kuva13. Nollajärjestelmä

Myötäjärjestelmä on symmetrinen kolmivaihejärjestelmä, jonka vaihejärjestys on R-S-T

$$U_{R1} = U_1$$

$$U_{S1} = a^2 U_1$$

$$U_{T1} = a U_1$$



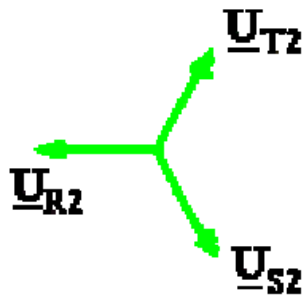
Kuva 14. Myötäjärjestelmä

Vastajärjestelmä on symmetrinen kolmivaihejärjestelmä, jonka vaihejärjestys on R-T-S

$$U_{R1} = U_1$$

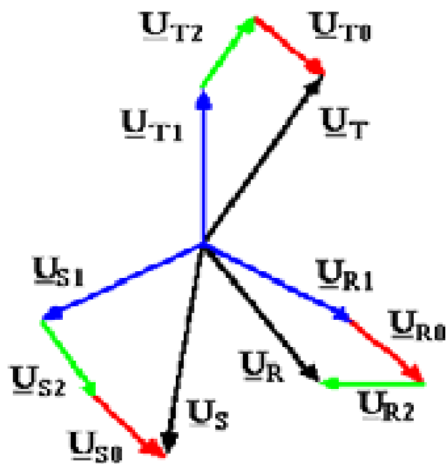
$$U_{S1} = a^2 U_1$$

$$U_{T1} = a U_1$$



Kuva 15. Vastajärjestelmä

Epäsymmetriset vaihesuureet saadaan summaamalla kunkin osajärjestelmän asianomaisen vaiheen komponentit. Alla olevassa kuvassa 16 on esitetty epäsymmetristen vaihesuureiden muodostuminen symmetrisistä komponenteista.



Kuva 16. Epäsymmetriset vaihesuureet symmetrisistä komponenteista

$$U_R = U_{R0} + U_{R1} + U_{R2}$$

$$U_S = U_{S0} + U_{S1} + U_{S2}$$

$$U_T = U_{T0} + U_{T1} + U_{T2}$$

Jännitteet ja virrat symmetristen komponenttien avulla ilmaistuna esitetään usein matriisimuodossa (kuva 17).

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_R \\ \underline{U}_S \\ \underline{U}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_0 \\ \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_R \\ \underline{U}_S \\ \underline{U}_T \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_R \\ \underline{I}_S \\ \underline{I}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I}_0 \\ \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I}_R \\ \underline{I}_S \\ \underline{I}_T \end{bmatrix}$$

Kuva 17. Virtojen ja jännitteiden symmetristen komponenttien laskenta matriisimuodossa

Kukin virtakomponentti kohtaa verkossaan omat impedanssinsa: nollakomponentit nollaimpedanssit, myötäkomponentit myötäimpedanssit ja vastakomponentit vastaimpedanssit. Impedanssien perusteella voidaan puhua nollaverkosta, vastaverkosta ja myötäverkosta. /3/

9. JÄNNITEVAIHTELUT

Sähkönkäyttäjälle toimitetun jännitteen suuruus on tärkeä sähkön laatutekijä. Sähkölaitteet eivät ehkä toimi kunnolla, jos jännite on liian suuri tai liian alhainen. Jakeluverkon koko siirtotien jännitteen alenema on keskijännitejohdon, jakelumuuntajan ja pienjännitejohdon jännitteen alenemien summa.

Jakeluverkkojen ominaisuudet on määritelty standardissa SFS 50 160 ”Yleisen sähkönjakeluverkon jakelujänniteominaisuudet”. Standardin mukaan normaaleissa käyttöolosuhteissa, lukuun ottamatta vikatilanteita ja erilaisia muita keskeytyksiä, pienjänniteverkossa jokaisen viikon aikana 95 % jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvosta tulee olla välillä $U_n \pm 10\%$. /12/

9.1. Kaapeleiden jännitteen alenemat

Jännitteen alenema lasketaan kaavalla 4

$$U_h = I_p R + I_Q X = IR \cos \varphi + IX \sin \varphi \quad (4)$$

U_h on jännitteen alenema

I_p on kuormitusvirran pätökomponentti

I_Q on kuormitusvirran loiskomponentti

R on johdon kokonaisresistanssi

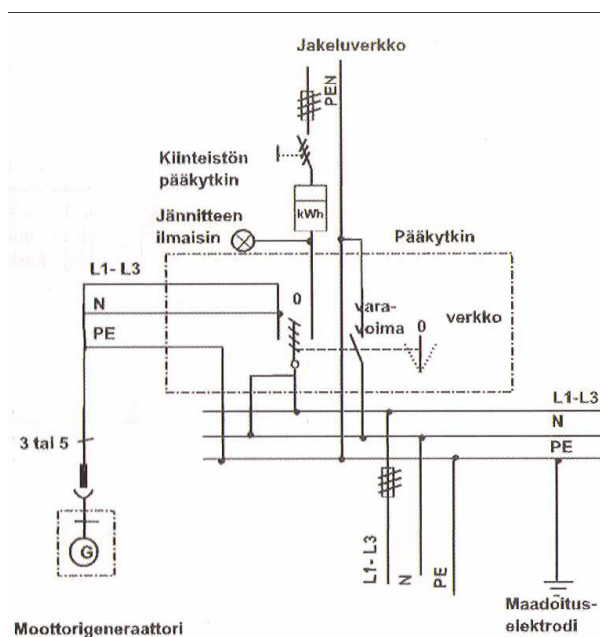
X on johdon kokonaisreaktanssi

10. VARAVOIMAJÄRJESTELMÄT

10.1. Varavoimakone

Varavoimakoneilla tarkoitetaan laitteistoja, joilla mahdollistetaan sähkön saanti vikatilanteissa. Varavoimailaitteistona voi käyttää monia eri mahdollisuuksia, kuten erilaiset aggregaatit, aurinkovoima, tuulivoima yms. Varavoimalla voidaan pyörittää erilaisia sähköjärjestelmiä esim. varaamalla järjestelmän akkua tai pyörittämällä erilaisia moottoreita. Varavoimakone on varustettava suojalaitteilla, jotka takaavat henkilöiden turvallisuuden ja estävät vaurioiden syntymisen muille laitteille. Varavoimakoneessa on oltava tarpeelliset arvokilvet, ja laitteiston asennusta ja hoitoa varten on oltava kirjalliset ohjeet. /4/

Varavoimakoneen ja yleisen jakeluverkon virtapiirin rinnankäyttö tulee olla estetty saarekekäytössä. Vaatimus voidaan toteuttaa esimerkiksi käyttämällä käsin ohjattavan laitteiston syöttöpiirissä vaihtokytkintä, joka täyttää erotuskytkimelle asetetut vaatimukset. Mikäli vaihtokytkin toimii samalla pääkytkimenä, siinä on oltava myös auki-asento. Varavoimakoneen kytkentäkaavio on esitetty kuvassa 18. /4/



Kuva 18. Varavoimakoneen kytkentäkaavio

10.2. UPS-laitteisto

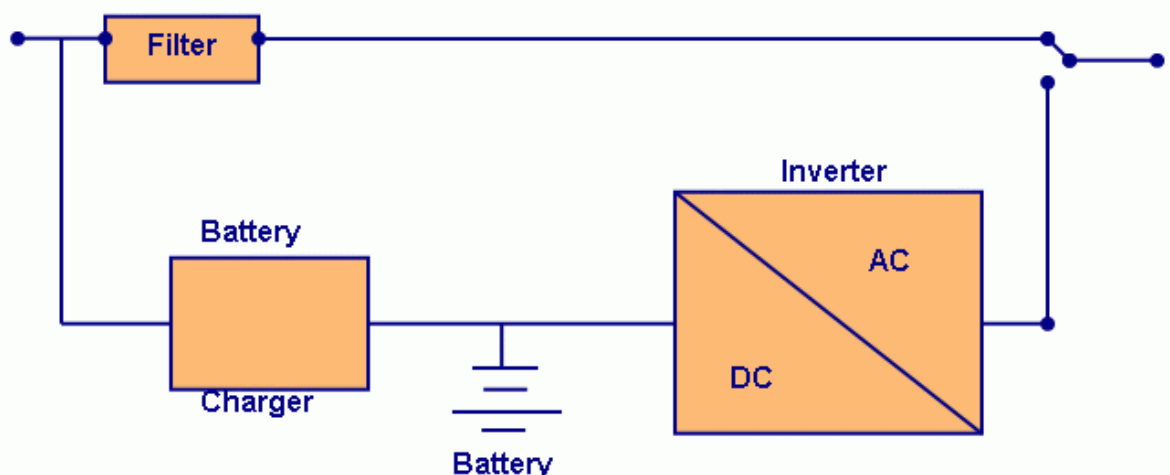
UPS-järjestelmällä (Uninterruptible Power Supply) tarkoitetaan tavanomaiseen sähköverkkoon liitettyä sähköjärjestelmää, joka mahdollistaa kuormituksen jatkuvan sähkön saannin syöttävän verkon jännitekatkosta huolimatta. UPS-järjestelmä muodostuu sähköenergiavarastosta ja sähkön muuttamisesta, kytkemisestä ja jakelussa tarvittavista laitteista sekä järjestelmän tarvitsemista ulkoisista maadoitusjohtimista. /16/

UPS-laite (UPS-laitteisto) on se toiminnallinen laitekokonaisuus, joka mahdollistaa UPS-verkon jatkuvan sähkön saannin. UPS-laitteiston pääosat ovat akusto, tasasuuntaaja, vaihtosuuntaaja ja tavallisesti myös lähtömuuntaja, mahdollisesti myös staattinen ohituskytkin, huolto-ohituskytkin ja erotusmuuntaja. /16/

UPS-järjestelmän syöttö on usein tarkoituksenmukaista ottaa kahdesta eri muuntopiiristä. Tällöin muuntajien tai keskusten huollot eivät aiheuta katkoja UPS-verkkoon. Mikäli on käytettävissä diesel-varmennettu verkko, on UPS:n toinen syöttö hyvä ottaa sieltä. /16/

OFF-line

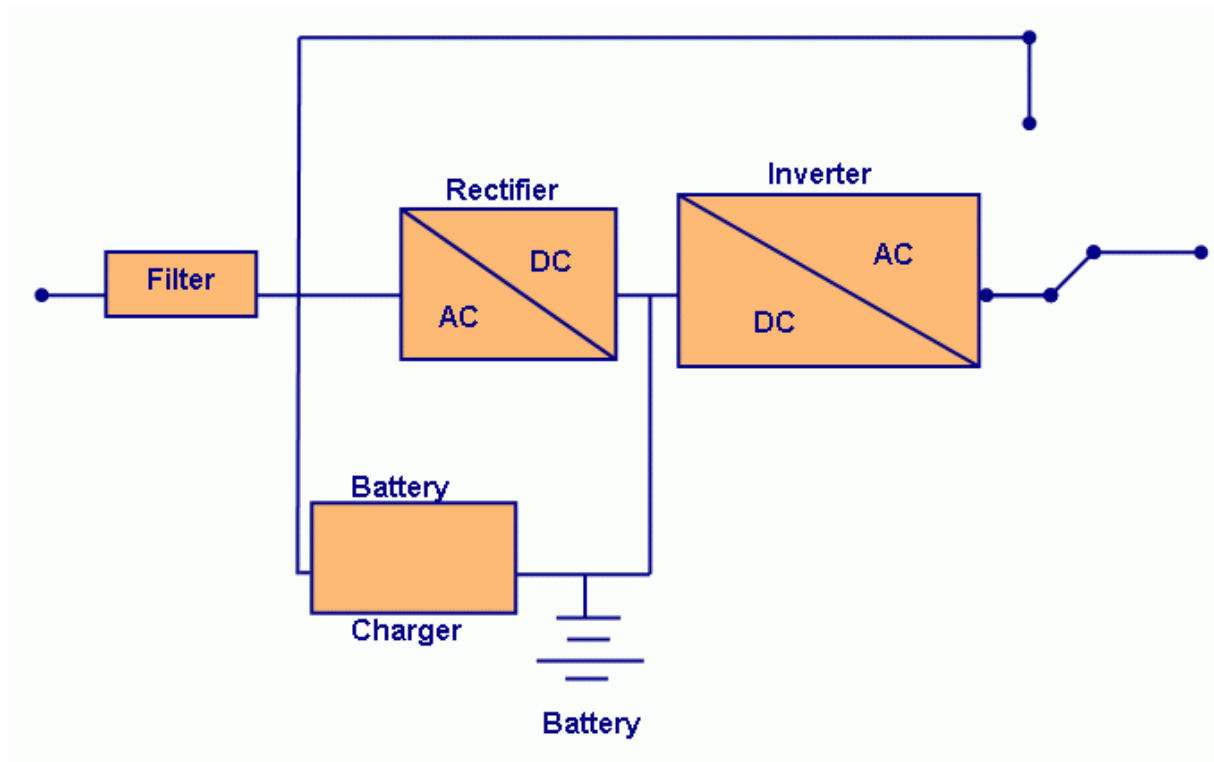
Off-line UPS soveltuu PC-laitteiden, kassapäätteiden, kotimikrojen, työasemien ym. pienten kuormien syöttöön. Normaalitilanteessa verkkosähkö suodatetaan tietokoneille. Jännitekatkon aikana sähkö syötetään akustosta vaihtosuuntaajan kautta tietokoneille. Kun verkkojännitteessä on taajuusvaihteluja tai suuria jännitevaihteluja, niin sähkönsyöttö siirtyy akustolle. Tässä tilanteessa akustoa puretaan ilman sähkökatkoa. Jos verkkojännitteessä on lisäksi suuria jännitepiikkejä, kuten teollisuusympäristössä, niin on syytä käyttää on-line UPS:ia. Kuva 19 on Off-line UPS -kytkennästä. /4/



Kuva 19. Off-line UPS -kytkentä

ON-line

Online UPS soveltuu kaikkien kriittisten kuormien sähkönsyötön varmistamiseen. Suureltaan jännite- ja taajuuspoikkeamat eivät siirrä UPS:ia akkusyötölle, vaan tasasuuntaaja kykenee syöttämään tarvittavan virran vaihtosuuntaajalle. On-line UPS -kytkentä on kuvassa 20. /4/



Kuva 20. On-line UPS -kytkentä

UPS-akusto

Suljettu lyijyakku soveltuu hyvin UPS-käyttöihin. Suljetusta lyijyakusta saatava energiamäärä lyhyillä purkausajoilla on huomattavasti suurempi kuin avoimilla lyijyakuilla. Suljettu lyijyakku voidaan asentaa UPS:in sisään tai omaan akkukaappiin, jonka sijoittaminen on vapaampaa kuin avoimien akkujen. Suljetut lyijyakut eivät tarvitse erillistä akkuhuonetta eivätkä erillistä ilmanvaihtoa, ja tarvittava ilmamäärä on neljännes siitä mitä avoimet lyijyakut tarvitsevat. Käytetyin akkutyyppi on yleensä ns. 5 vuoden akku ja suuremmilla tehoilla ja pitkällä varakäyntiajoilla ns. 10 vuoden akku. /4/

Avoimia lyijyakkuja käytetään nykyään harvemmin UPS:in akustona. Sen haittoina UPS-käytöissä on suuri tilantarve, asennus erilliseen akkuhuoneeseen sekä huono purettavuus lyhyillä ajoilla. Avoimia lyijyakkuja käytetään vaihtoehtona suljetuille 10 vuoden akuille, jos on tarve useiden tuntien varakäyntiaikaan. /4/

Nikkeli-kadmiumakut eli alkaliakut soveltuvat lähinnä olosuhteisiin, joissa lämpötila vaihtelee suuresti ja on tarve pitkään käyttöikään. /4/

10.2.1. UPS-verkon rakenne

UPS-verkko kannattaa rakentaa TN-S-järjestelmän mukaisesti jo häiriösyistäkin. Tähän päästään, kun käytetään syöttävän verkon puolella erotusmuuntajaa, jolloin UPS-järjestelmä on galvaanisesti erossa syöttävästä verkosta. Tällöin voidaan myös käyttömaadoittaminen toteuttaa paremmin. Oikosulkusuojauksen selektiivisyyteen kannattaa kiinnittää huomiota, koska oikosulkuvirrat vaihtelevat sen mukaan, onko syöttävä verkko jännitteinen vai ei. /11/

Kaapelointi

Koska kuorma on usein yksivaiheista, epälineaarista kaapelit on syytä mitoittaa 25 % normaaleja mitoitusääntöjä vahvemmiksi. Varsinkin nollajohdon mitoituksessa on otettava huomioon epälineaarisen yksivaiheisen virran summautuminen. Tämän vuoksi nollajohto onkin mitoittettava vähintään vaihejohtimien kestoisuutta vastaavaksi. Mikäli häiriöitä halutaan välttää mahdollisimman tehokkaasti, voidaan käyttää häiriösuojattuja kaapeleita, joita ovat mm. MLJMR -ja MARM-tyyppiset kaapelit. /11/

UPS-keskus

UPS-keskukseen kuuluvat seuraavat osat:

- Syöttöosa, johon liitytään syöttävästä verkosta yhdellä tai kahdella syötöllä (varasyöttömahdollisuus).
- Erotusmuuntaja, joka erottaa galvaanisesti syöttävän verkon ja UPS-verkon toisistaan.
- Liitännät UPS-laitteistolle menevää syöttöä sekä UPS-laitteistolta tulevaa syöttöä varten. Molemmat syötöt voivat olla puolikiinteä- tai kiinteäliitännäisiä.
- Ulkoinen huolto-ohitus, jolla ohitetaan koko UPS-laitteisto huollon ajaksi. (Ulkoisen huolto-ohituksen vaiheluku on sama kuin UPS-laitteiston vaiheluku sisäisiä ohituksia käytettäessä.)
- Keskuksen lähtöosa, joka sisältää kuormituksen johdonsuoja-automaatit. Lähtöosaan voidaan sijoittaa myös vikavirta- ja PE-johtimien erillään pysymisen valvontaa varten. UPS-keskukset mitoitetetaan kuormituksen perusteella. /11/

UPS-keskuksen suojaus

UPS-keskuksen oikosulkusuojaus voidaan toteuttaa sulakkeiden ja johdonsuoja-automaattien avulla. Useimmissa keskuksissa käytetään johdonsuoja-automaatteja ainoastaan lähtöosassa. /11/

Oikosulkusuojausten mitoituksessa käytetään lähtökohtana eräiden tyyppillisten UPS-laitteiden syöttämiä oikosulkuvirtojen arvoja. Nämä saattavat kuitenkin vaihdella valmistajasta riippuen, joten lopullinen mitoitus on tarkistettava kussakin tapauksessa erikseen UPS-laitteen valmistajan antamien oikosulkuvirtojen perusteella. Selektiivisyyssyistä UPS-keskuksen takana ei suositella käytettäväksi alakeskuksia. Tilanteissa, joissa syöttävä verkko on jännitteinen, siirtää staattinen ohituskytkin oikosulkuvirran syöttävälle verkolle. Oikosulkusuojaus toimii tällöin yleensä samalla tavalla kuin tavallisessa verkossa. /11/

Niissä tilanteissa, joissa syöttävä verkko ei ole jännitteinen, täytyy UPS-laitteen pystyä syöttämään oikosulkutilanteesta vähintään oikosulkuvirran arvot. Vain tällöin UPS-keskus voi selviytyä oikosulkutilanteista 5 s kuluessa ($I_{k:n}$ on yleisesti oltava $2 \cdot I_{upsout}$). Johdonsuoja-automaattien käytössä on huomioitava, ettei erotusmuuntajan tai UPS-laitteen syöttämä oikosulkuvirta ylitä automaattien katkaisukykyä. /11/

11. TYÖN TOTEUTUS

11.1. Teholaskelmat

Ekfors Karftille suunnittelemassani työssä liittymän tehontarpeen määräävät toimistorakennus sekä kaksi varastointi/työskentelyhallia, joiden vuosienergian kulutus tiedetään ja sähkötehotarve/laitteistot. Tehojen tarvetta lisäävät myös alueen autolämmittimet, mastovalaisimet sekä sähköportit. Sähkötehot ST-kortiston toimistorakennuksen mallin mukaan huipputeho P_{\max} arvioltaan 52 W/m^2 ja hallirakennuksien huipputeho P_{\max} arvioltaan 60 W/m^2 .

$$\text{Halli 1} \quad P_{\max} = 60 \text{ W} * 400 \text{ m}^2$$

$$P_{\max} = 24 \text{ kW}$$

$$\text{Halli 2} \quad P_{\max} = 60 \text{ W} * 500 \text{ m}^2$$

$$P_{\max} = 30 \text{ kW}$$

$$\text{Toimisto 3} \quad P_{\max} = 52 \text{ W} * 400 \text{ m}^2$$

$$P_{\max} = 20,8 \text{ kW}$$

Näin ollen suunniteltavan liittymän yhteen laskettu maksimiteho P_{\max} on $74,8 \text{ kW}$

Liittymän näennäisteho S kaavalla:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{74,8 \text{ kW}}{\cos 0,95} = 74,81 \text{ kVA} \quad (5)$$

Liittymän maksimivirta:

$$I_{\max} = \frac{S}{\sqrt{3} * U} = \frac{74,81 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 400 \text{ V}} = 107,98 \text{ A} \quad (6)$$

11.2. Ekfors Kraftin muuntajavalinnat

Ensimmäisen muuntajakoon valinnassa valittiin 20/0,4 kV:n muuntajaksi 500 kVA:n muuntaja. Tähän päädyttiin, koska tästä samasta muuntajasta tultaisiin syöttämään myös vedenpuhdistuslaitosta sekä kahta muuta lähistöllä olevaa pientä teollisuusrakennusta. Muuntaja on Minel-merkkinen 500 kVA $U_k = 5,2\%$ ja kytkentäryhmä Dyn11. Muuntaja on esitetty kuvassa 21. Tämä muuntaja asennetaan puistomuuntamona hallirakennus 1:n piha-alueelle.



Kuva 21. Minel 500 kVA:n muuntaja

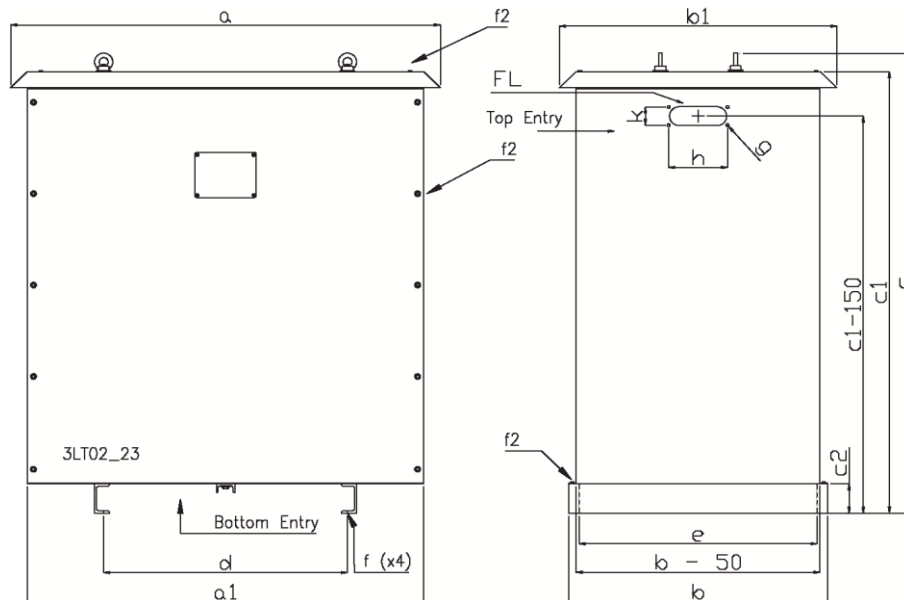
Toisen muuntajan eli 0,4/1 kV:n tehoksi valittiin 100 kVA:n muuntaja mahdollisen myöhemmän tehontarpeen kasvun johdosta ja kolmanneksi muuntajaksi 1/0,4 kV:n 50 kVA:n muuntaja. Nämä kaksi muuntajaa asennetaan rakennusten sisälle erillisiin muuntajahuoneisiin. Muuntajien 2 ja 3 mallit ovat Noratellin matalajännitemuuntajia. Muuntajat on esitetty kuvissa 22, 23, 24 ja kytkentäryhmät kuvassa 25. Teknisiä tietoja Noratellin muuntajista on esitetty taulukoissa 9 ja 10.



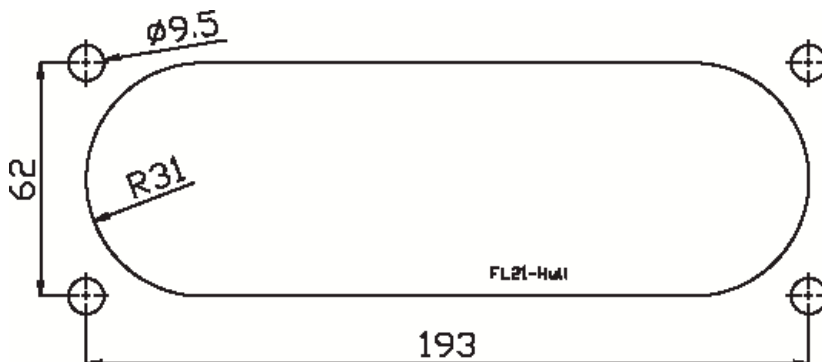
Kuva 22. Noratel 3LT-23

Taulukko 9. Noratel-muuntajan tekniset tiedot /18/

Ensiö	3*115 - 3*1000V
Taajuus	47 - 63Hz
Toisio	3*115 - 3*1000V
Kytentäryhmät	Dyn11, Dyn5
Valmistusnormi	IEC60726/IEC60076
Eristysjännite	3 kV AC RMS
Suojausluokka	1 (maadoitettava)
Eristysluokka	F 155°C (vakio) H (180°C)
t_a max	45°C
Kotelointiluokka	IP23
Liitäntä	Kuparikiskot



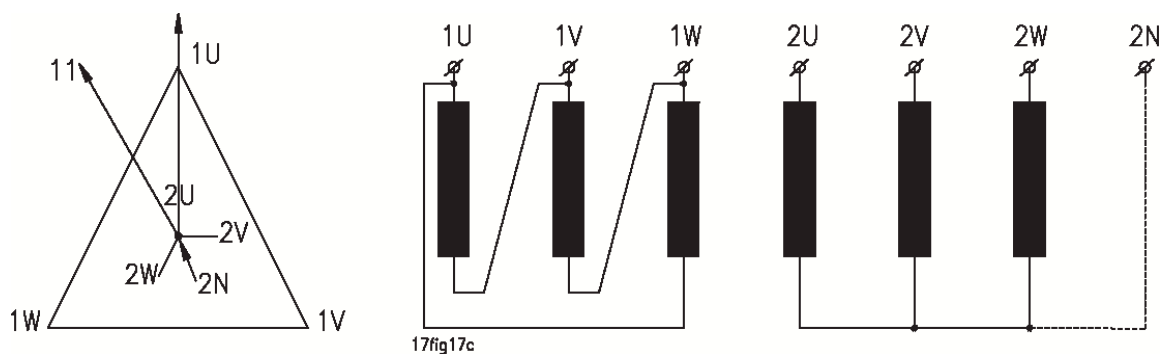
Kuva 23. Noratel-muuntajan mittakuva



Kuva 24. Laippa 40-315kVA

Taulukko 10. Noratel-muuntajien häviöt ja oikosulkuvirrat /18/

Tyyppi	Fe häviöt (W)	Cu häviöt (W)	e_z (%)	e_r (%)	I_c (%)
3LT50.0	274	1063	2,8	2,1	18
3LT100	450	2291	3,5	2,3	13

**Kuva 25.** Noratel muuntajan vakiokytkentäryhmä Dyn11, kolmio ja tähti

Muuntaja 2 asennetaan hallirakennus 1:een ja muuntaja 3 toimistorakennus 3:een.

Muuntajien talukkoarvoja on liitteessä 3.

11.3. Ekfors Kraftin kaapeleiden valinnat

20 kV:n keskijännitekaapeliksi valittiin 240 neliön kaapeli DRAKA AXLJ-TTCL 1*240/35. Tämä vedetään vaihe kerrallaan ilmajohtoverkosta puistomuuntajalle. Näin vankkaa kaapelia käytetään sen vuoksi, koska keskijänniteverkko jatkuu myös työn liittymiskohdan jälkeen takaisin ilmajohtoverkoksi sekä liittymän muuntaja syöttää myös muita asiakkaita. 500 kVA:n muuntajan jälkeen hallirakennukseen 1 syötetään kahdella 240 neliön AXMK 4*240 REKA -valmisteisella Pj-kaapelilla, joka kaapelikeloineen on esitetty kuvassa 26. 0,4/1 kV:n muuntajan jälkeen 1 kV:n syöttönä käytetään 150 neliön AXMK 4*150 REKA -valmisteista kaapelia.



Kuva 26. AXMK 4*240 -kaapeli

11.4. Oikosulkuvirtalaskelmat ja suojausten valinta

Kantaverkon oikosulkuvirran suuruudet saadaan yleensä verkon haltijalta. Ekfors Kraftin sähköverkkoa syöttää Vattenfallin 40/20kV:n sähköasema. Tämän sähköaseman kolmivaiheinen oikosulkuvirta I_k on 1,34kA. Kaksivaiheinen oikosulkuvirta I_{k2} on 1,16kA. Kaksivaiheinen oikosulkuvirta saadaan kaavalla:

$$I_{k2} = I_k * \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right) = 1,16kA \quad (7)$$

Oikosulkuvirran suuruudesta saadaan syöttävän verkon oikosulkuimpedanssi, jota tarvitaan liittymän oikosukusuojauksia laskettaessa:

$$Z_{k20} = \frac{U}{\sqrt{3} * I_k} * \left(\frac{U_{N2}}{U_{N1}} \right)^2 = \frac{40kV}{\sqrt{3} * 1,34kA} * \left(\frac{20kV}{40kV} \right)^2 = 4,3 \Omega \quad (8)$$

Z_{k20} on syöttävän verkon oikosulkuimpedanssi 20kV:n puolelle redusoituna. (Ω)

U on syöttävän verkon laskentajännite (kV)

I_k on syöttävän verkon oikosulkuvirta (kA)

U_{N1} on päämuuntajan yläjännitepuolen nimellijännite (kV)

U_{N2} on päämuuntajan alajännitepuolen nimellijännite (kV) /5/

Oikosulkuimpedanssien laskeminen

Myötäverkon, vastaverkon ja nollaverkon oikosulkuimpedanssien ja oikosulkuvirtojen laskut on esitetty liitteessä 7. Liitteessä 7 on myös esitetty jakeluverkon sijaiskytkennät. Kaavojen resistanssi ja reaktanssiarvot on otettu liitteiden 3, 5 ja 6 taulukoista.

11.5. Ekfors Kraftin kesijänniteverkon oikosulkusuojaus

Ekfors Kraftin kesijänniteverkkoa syötetään 152 Al/Fe -ilmajohdoilla. Liitteenä 5 olevasta 20 kV:n ilmajohtojen johdintaulukosta huomataan, että ilmajohto on oikosulkuarvoon nähden oikosulkukestoinen. Laskut tehdään kohdan 8.1.1 kaavan 2 mukaisesti ja releistysarvoina käytetään Ekfors Kraftin käyttämiä releistysten arvoja sekä liitteen 5 jäähtymisaikavakioita. /1/

$$t = t_1 * e^{-t_0/\tau} + t_2 = 1 * e^{-5/15} + 1 = 1 \quad (9)$$

11.6. Työn Pj-verkon suojaukset

Tässä Ekfors Kraftille tekemässäni työssä päädytään toimistorakennuksen 3 pääsulakkeina käyttämään 35 A gG-sulakkeita. AXMK 4*240 Pj-kaapeliin suojana käytetään liittymän maksimivirran perusteella 120 A gG-sulakkeita. 1 kV:n kaapelia suojataan ABB:n Sace Tmax -katkaisijalla, joka on esitetty kohdassa 8.4. Tämän katkaisijan suojausyksikön toimintaparametrit asetellaan siten, että oikosulkusuojaus toimii 60 A:n virralla ja ylikuormitussuoja 50 A:n virralla 18 s kuluttua.

Oikosulkusuojausten toimivuuden tarkastamiseksi tein taulukon 11. Taulukko on tehty 8.2.2 taulukon 7 gG-sulakkeiden toiminta-ajat sekä liitteen 19 piirikaavion pisteiden ja liitteiden 7-16 laskettujen oikosulkuvirtojen arvoista.

Taulukko. 11 Oikosulkusuojausten toimivuus

Piste	Laskettu oikosulkuvirta (A)	Käytetty gG-sulake (A)	5s toiminta-ajan toimintavirta (A)
4	243	35	165
3	304	50	250
2	3900	125	715

Todetaan, että kaikki suojaukset toimivat 5 s toiminta- ajalla. Tämä voidaan tarkastaa myös kohdan 8.2.2 käyrästä kuva 9. Kuitenkin käy ilmi myös se, ettei viimeisellä kuluttajan pisteellä saavuteta 250 A:n haluttua oikosulkuvirtaa.

11.6.1. Oikosulkuvirta

Yksivaiheinen oikosulkuvirta toimistorakennuksen muuntajalla:

Muuntajan arvo on otettu liitteen 3 taulukosta ja 150 neliön kaapelin arvot liitteen 6 taulukosta sekä komponenttilaitteiden valmistajilta. Yksivaiheinen oikosulkuvirta on laskettu 0,4 kV:n jännitteellä kohdan 8.2.2 kaavan 3 mukaisesti.

$$I_{k1v} = 428A$$

11.7. Jännitteen alenemat

Kaapeleiden jännitteen alenemat lasketaan, jotta tiedetään, riittääkö suunnitellun kaapelin jännitteensiirtokyky siirtämään verkkojännitteen kysytyn matkan $\pm 10\%$ jännitteen vaihtelulla. Jännitteen alenema lasketaan liitteen 6 taulukon impedanssiarvoista ja kohdassa 12.1 lasketuista tehollisarvoista kohdan 10.1 kaavalla 4:

1 kV:n kaapeli 150 AXMK impedanssi on 0,269 mΩ/m

Toimistorakennuksen eli verkon piirikaavion kuvassa pisteen 3 P_{\max} on 20,8 kW.

Pisteen 3 Näennäisteho:

$$S = \frac{P_{\max}}{\cos\varphi} = \frac{20,8kW}{\cos 0,95} = 20,8kVA \quad (10)$$

Pistettä 3 syöttävän kaapelin maksimivirta 1 kV:n jännitteellä lasketaan:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U} = \frac{20,8kVA}{\sqrt{3} * 1kV} = 12A \quad (11)$$

Maksimivirta 400 V:n tasossa

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U} = \frac{20,8kVA}{\sqrt{3} * 0,4kV} = 30A \quad (12)$$

Näistä arvoista lasketaan pistettä 3 syöttävän 150 AXMK -kaapelin jännitteen alenema

$$U_h = 30A * 0,26\Omega / km * \cos 0,95 + 30A * 0,063\Omega / km * \sin 0,95 = 7,83V / km \quad (13)$$

150 AXMK -kaapeli on 0,8 km:n mittainen ja tälle matkalle kyseisessä kaapelissa jännite alenee:

$$U_h = 0,8 \text{ km} * 7,83 \text{ V} / \text{ km} = 6,264 \text{ V} \quad (14)$$

Ja

$$U_h \% = \frac{6,264 \text{ V} * 100}{230 \text{ V}} = 2,72\% \quad (15)$$

Eli todetaan, että kaapelin on käyttökelpoinen, koska sen pisteeseen 3 syöttämä jännite ei alene yli 10 % vaan ainoastaan 2,7 %.

Samoja kaavoja ja liitteen 6 taulukkoarvoja käyttäen lasketaan piirikaavion pistettä 1 syöttävä 0,4 kV:n 240 AXMK kaapelin jännitteen alenema. Kohdan 1 Pmax on 74,8 kW

$$U_h = 107,98 \text{ A} * 0,125 \Omega / \text{ km} * \cos 0,95 + 107,98 * 0,056 \Omega / \text{ km} * \sin 0,95 = 13,59 \text{ V} / \text{ km} \quad (16)$$

240 AXMK-kaapeli on 0,02 km:n mittainen ja tälle matkalle kyseisessä kaapelissa jännite alenee:

$$U_h = 0,02 \text{ km} * 13,59 \text{ V} / \text{ km} = 0,27 \text{ V} \quad (16)$$

$$U_h \% = \frac{0,27 \text{ V} * 100\%}{230 \text{ V}} = 0,11\% \quad (17)$$

Näin todetaan, että tämänkin kaapeli on tarvittavan kokoinen.

11.7.1. Muuntajien jännitteen alenemat

Otetaan muuntajien resistanssit ja reaktanssit liitteenä 3 olevasta taulukosta.

500 kVA:n muuntaja eli piirikaavion pisteen 1 muuntaja

$$U_h = 107,98 \text{ A} * 0,0035 \Omega \cos 0,95 + 107,98 \text{ A} * 0,013 \Omega \sin 0,95 = 0,40 \text{ V} \quad (18)$$

100 kVA:n muuntaja eli piirikaavion pisteen 2 muuntaja

$$U_h = 30 \text{ A} * 0,037 \Omega \cos 0,95 + 30 \text{ A} * 0,056 \Omega \sin 0,95 = 1,14 \text{ V} \quad (19)$$

50 kVA:n muuntaja eli piirikaavion pisteen 3 muuntaja

$$U_h = 30 \text{ A} * 0,067 \Omega \cos 0,95 + 30 \text{ A} * 0,045 \Omega \sin 0,95 = 2,03 \text{ V} \quad (20)$$

Pienjänniteverkon kokonaisjännitteenalenema U_{hkok} saadaan, kun lasketaan yhteen muuntajien jännitteenalenema U_{hm} ja kaapeleiden jännitteenalenema U_{hk}

$$U_{hkok} = U_{hm} + U_{hk} = 3,57 \text{ IV} + 6,534 \text{ V} = 10,1 \text{ IV} \quad (21)$$

$$U_{hkok} = \frac{10,1 \text{ IV} * 100\%}{230 \text{ V}} = 4,39\% \quad (22)$$

Todetaan, että pienjänniteliittymän kokonaisjännitteenalenema on alle 5 %. Eli jännitteen alenema ei ole liian suuri.

11.8. Työn varavoimakone

Ekfors Kraftin projektissa varavoima koneena käytetään Cummins 200 kVA:n varavoimakonetta. Varavoimakoneen ohjaus ja mittaritaulu on esitetty kuvassa 26. Kone asennetaan käsiohjatuksi projektin hallirakennus 1:n sisälle ja koneelle järjestetään ulos suurempi polttoainesäiliö syöttöjärjestelmineen. Varavoimakoneen teknisiä tietoja on esitetty taulukoissa 12, 13, 14 ja 15.



Kuva 27. Cumminssin varavoimakoneen ohjauspaneeli

Taulukko 12. Cummins 200kVA:n dieselgeneraattorin tekniset tiedot /17/

Malli	C200D5
Taajuus	50Hz
Polttoaine	Diesel
Meludata	ND50-OS550
Moottorin valmistaja	Cummins
Moottorin malli	6CTAA8,3G1
Moottorin mekaaninen teho	237kW
Kierrosluku	1500rpm
Säätäjätyyppi	Elektroninen
Käynnistysjärjestelmän jännite	24VDC

Taulukko 13. Cummins 200kVA:n polttoaineen kulutus /17/

Polttoaineen kulutus Mitoitus	kVA (kW) 200 (160)			
Kuorma	25%	50%	75%	100%
L/hr	12	22	33	45

Taulukko 14. Cummins 200kVA:n generaattorin tiedot /17/

Rakenne koodi B680	KytKentä Tähti, 3-vaihe	Lämpötilan nousu °C 150/125	Generaattori UC274H	Jännite 380-415V
-----------------------	----------------------------	--------------------------------	------------------------	---------------------

Taulukko 15. Generaattorin impedanssit /17/

Teho	Resistanssi R (Ω)	Tahti reaktanssi X_d (Ω)	Vastaverkon reaktanssi X_{ed} (Ω)
200kVA	0,016	0,47	0,11

11.9. Työn UPS-järjestelmä

UPS-järjestelmäksi valittiin EATON 9390. Tämä on on-line ups-järjestelmä. Kyseinen järjestelmä on teholtaan 60 kVA:n tehoinen ja sen tulovirran harmonisten yliaaltojen osuus on vähemmän kuin 5 %. Tämän ansiosta se on hyvin yhteensopiva muiden virtalähteiden kanssa ja sopii näin ollen hyvin toimistorakennuksen ups-yksiköksi. Eaton 9390 tekniset tiedot ovat liitteessä 8. /15/



Kuva 28. Eaton 9390

12. YHTEENVETO

Jakelujännitteen nostaminen Pj-verkoissa yhteen kilovolttiin parantaa tehonsiirtokykyä ja mahdollistaa sähköenergian siirron pidemmille matkoille kuin normaalia 400 voltin järjestelmää käytettäessä. Ei tarvitse rakentaa 20 kV:n keskijänniteverkkoa tehon siirron vuoksi. Pienjännitemateriaalit, kuten johtimet ja muut komponentit on jo suunniteltu kestämään 1 kV:n jännitetason. Tämän järjestelmän vaikein osuus oli tarvittavien muuntajien ja verkoston suojauskomponenttien asianmukainen valinta. Työssä ongelmia tuotti tarvittavan materiaalin hankinta ja löytäminen sekä oikosulkuimpedanssien laskeminen kaikille verkostossa oleville komponenteille. Laskemista vaikeuttivat myös varavoimajärjestelmät. Saaduista tuloksista kuitenkin huomattiin, että myös generaattorikäytössä pienjänniteverkon suojaukset toimivat oikein.

13. LÄHDELUETTELO

- /1/ Ekfors Kraft, Sähkøyhtiøltä saadut tiedot.
- /2/ Elbranchen lehti, 2008.
- /3/ Elovaara, Jarmo, Laiho, Yrjö, Sähkølaitostekniikan perusteet, Otakustantamo, 1990.
- /4/ Etto, Jaakko, Kunnossapitokurssin oppimateriaali ja harjoitustyö.
- /5/ Keskijänniteverkon sähkøinen mitoittaminen SA 5:94.
- /6/ Lakervi, Erkki, Partanen, Jarmo, Sähkønjakelutekniikka, 2008.
- /7/ Pienjänniteverkon ja jakelmumuuntajan sähkøinen mitoittaminen, Sähkøenergialiitto ry, Sener verkostosuositus SA 2:92, Helsinki, 1992
- /8/ Sanningen om Ekfors, 1990
- /9/ SFS 6000, Sähkøasennusstandardi.
- /10/ ST-kortisto 13.31
- /11/ ST-kortisto 96.32
- /12/ Tiainen, Esa, Sähkøasennukset 1, Sähkøinfo Oy, 2008
- /13/ Toivonen, Jussi, [WWW.dokumentti],
[http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical_engineering/research/
electricitymarkets/research/networkbusiness/Documents/20_1_04raportti_fin.pdf],
05.04.2010.
- /14/ [WWW.dokumentti], [www.draka.com], 20.09.2010.
- /15/ [WWW.dokumentti], [www.eaton.com], 16.05.2010.
- /16/ [WWW.dokumentti], [www.ee.lut.fi/fi/lab/sahkomarkkina/seminaari1kV.html]
06.04.2010.
- /17/ [WWW.dokumentti], [www.kwset.fi/] sekä puhelinkysely Kwset-yhtiøltä,
20.09.2010.
- /18/ [WWW.dokumentti], [www.noratel.fi], 10.09.2010.

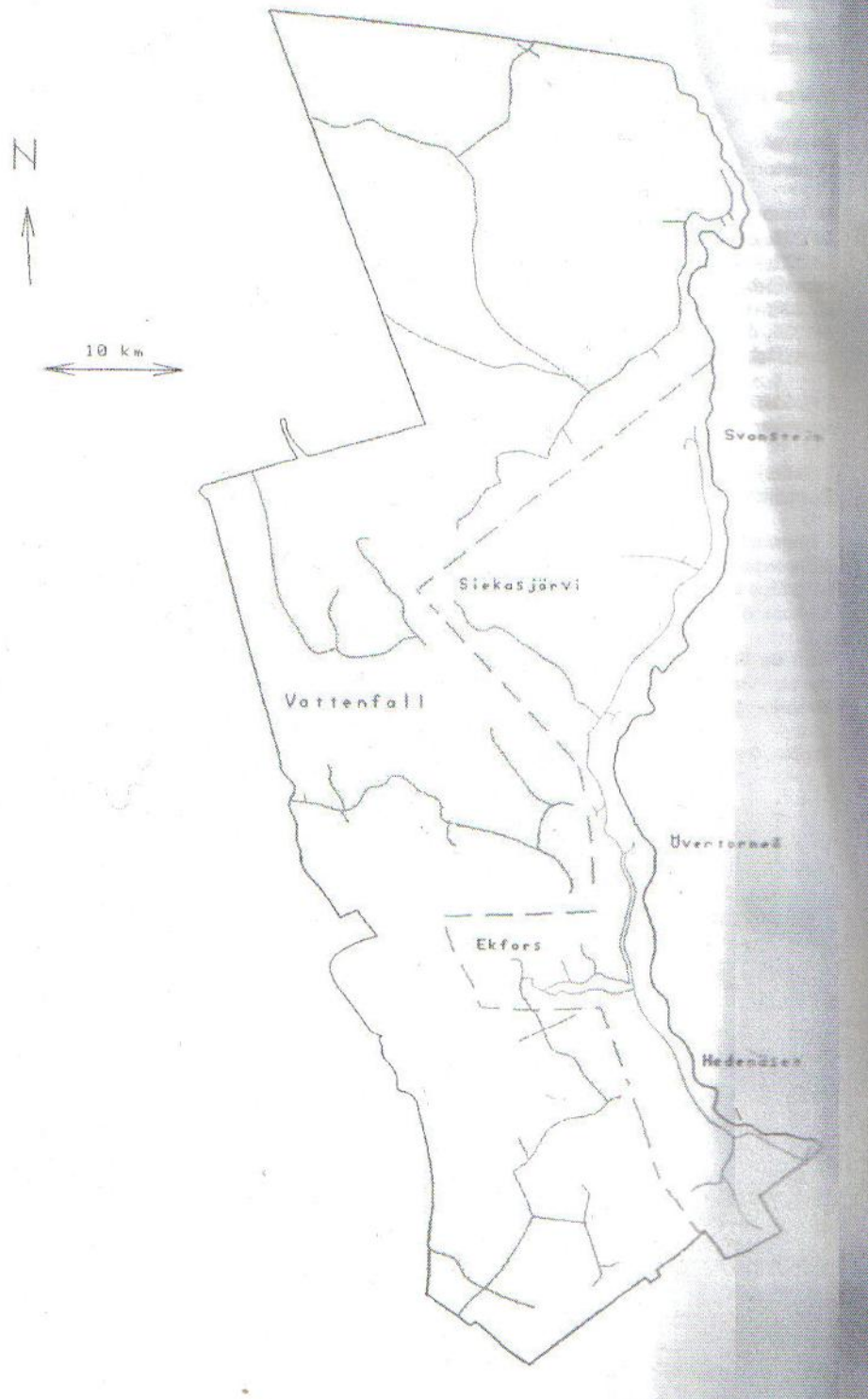
14. LIITELUETTELO

Liite 1	Jakeluverkkoalue
Liite 2	Kaavoitusalue
Liite 3	20/0,4 kV jakelumuuntajien resistanssit ja reaktanssit
Liite 4	Pienjännitekaapeleiden kuormitettavuudet
Liite 5	20 kV ilmajohtojen johtotietoja
Liite 6	Johtojen resistanssit ja reaktanssit
Liitteet 7-16	Oikosulkuimpedanssien laskentaa
Liitteet 17 ja 18	Eaton UPS-järjestelmän tekniset tiedot
Liite 19	Jakeluverkon piirikaavio

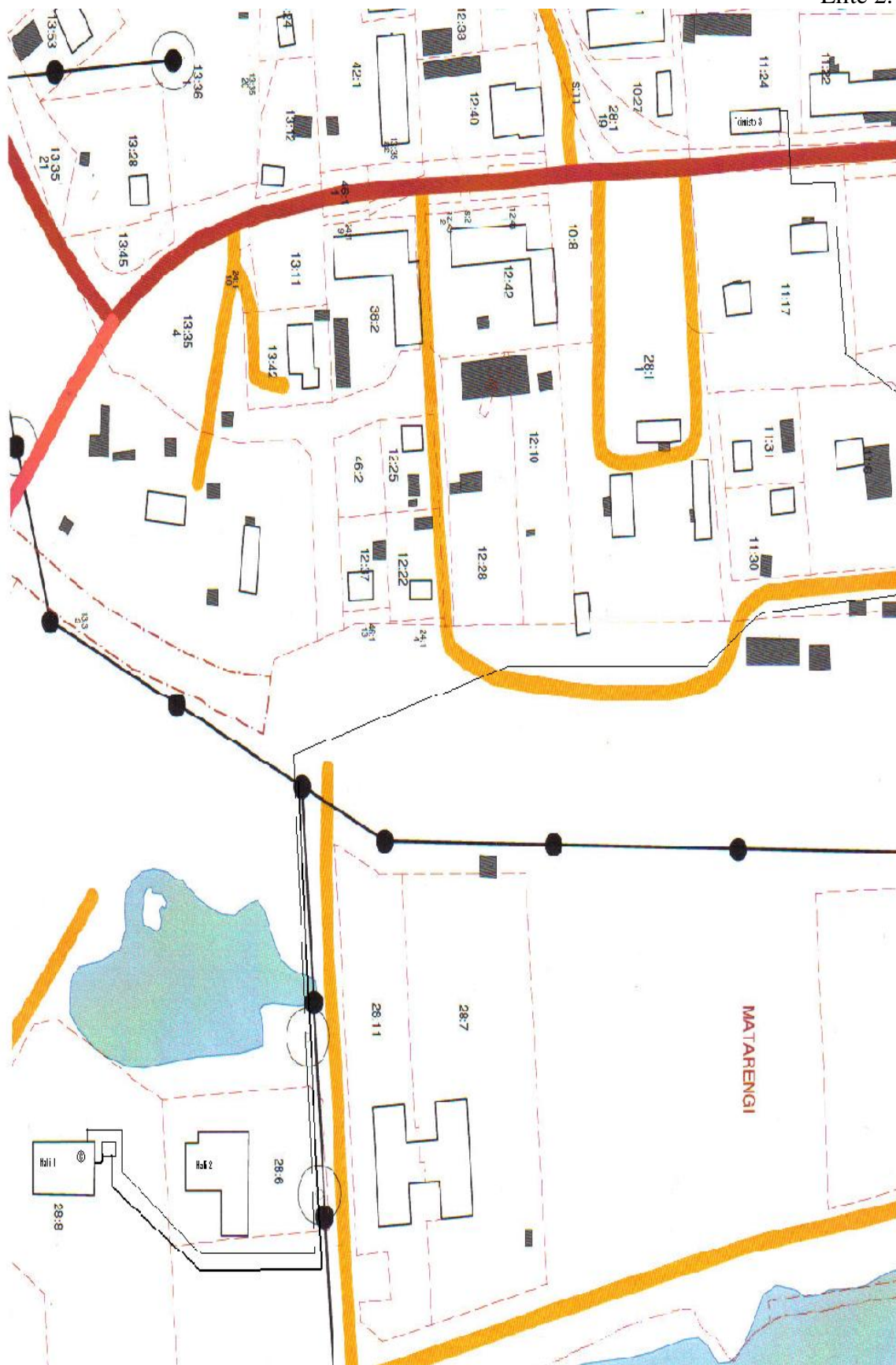
Liite 1.

Ekfors Kraftin sähköjakeluverkko

20 kV ledningar i Övertorneå Kommun



Liite 2.



Liite 3.

Jakelumuuntaja taulukko (arvot muuntajien valmistajilta)

Malli	Teho (kVA)	Oikosulkujännite U_k (%)	Oikosulkuresistanssi (u_r) ja (R_k)	Oikosulkureaktanssi (u_k) ja (X_k)
Minel 20/0,4kV	500	5,2	1,1 ja 0,0035	4,1 ja 0,013
Noratel 0,4/1kV	100	5,8	2,3 ja 0,037	3,5 ja 0,056
Noratel 1/0,4kV	50	4,9	2,1 ja 0,067	2,8 ja 0,045

Oikosulkuresistanssit taulukkoon saadaan sen prosentuaalisesta arvosta kaavalla:

$$R_k = u_r \frac{U_n^2}{S_n}$$

Oikosulkureaktanssit taulukkoon saadaan sen prosentuaalisesta arvosta kaavalla:

$$X_k = u_k \frac{U_n^2}{S_n}$$

Oikosulkuresistansseja ja oikosulkureaktansseja tarvitaan oikosulkuimpedanssien laskemiseen, jotta saadaan laskettua liittymän oikosulkuvirrat sekä myös muuntajien jännitteenalenemia laskettaessa.

Liite 4.

KAAPELI	KAAPELIN KUORMITETTAVUUS (A) ¹⁾			
	Maassa, talvi	Maassa, kesä	Asennustapa B ²⁾	Muuntamossa
AXMK 4x300 S	390	355	430/480 ³⁾	380/420 ³⁾
AXMK 4x240 S	340	310	385/430 ³⁾	340/380 ³⁾
AXMK 4x185 S	300	275	325/365 ³⁾	285/320 ³⁾
AXMK 4x120 S	230	210	250/280 ³⁾	220/245 ³⁾
AXMK 4x70 S	170	155	180/205 ³⁾	160/180 ³⁾
AXMK 4x35 S	115	105	120/130 ³⁾	105/115 ³⁾
AXMK 4x25 S	91	83	95/105 ³⁾	85/92 ³⁾
AXMK 4x16 S	71	65	70/75 ³⁾	62/66 ³⁾
AXCMK 3x300+88	390	355	430/480 ³⁾	380/420 ³⁾
AXCMK 3x185+57	300	275	325/365 ³⁾	285/320 ³⁾
AXCMK 3x120+41	230	210	250/280 ³⁾	220/245 ³⁾
AXCMK 3x70+21	170	155	180/205 ³⁾	160/180 ³⁾
AXCMK 3x35+10	115	105	120/130 ³⁾	105/115 ³⁾
AXCMK 3x16+10	71	65	70/75 ³⁾	62/66 ³⁾
APAKM 4x240	365	340	375	330
APAKM 4x185	310	290	320	280
APAKM 4x120	245	230	245	215
APAKM 4x70	180	170	180	160
APAKM 4x35	120	110	115	100
AMCMK 3x240+72	340	310	330	290
AMCMK 3x185+57	300	275	285	250
AMCMK 3x120+41	230	210	220	195
AMCMK 3x70+21	165	155	155	135
AMCMK 3x35+10	115	105	105	92
AMCMK 3x16+10	70	65	64	56
MCMK 3x240+120	435	395	425	375
MCMK 3x185+95	380	350	365	320
MCMK 3x120+70	290	270	280	245
MCMK 3x70+35	215	200	200	175
MCMK 3x50+25	170	155	160	140
MCMK 3x35+16	145	130	135	120
MCMK 3x25+16	115	110	105	94
MCMK 3x16+16	91	83	82	72
MCMK 3x10+10	71	64	62	55
MCMK 3x6+6	51	47	33	29
PLKVJ 3x120+70	310	290	315	275
PLKVJ 3x95+50	275	255	275	240
PLKVJ 3x50+25	185	175	180	160
PLKVJ 3x25+16	130	120	120	105
PLKVJ 3x10+10	75	71	70	62
PLKVJ 3x6+6	51	47	33	29

¹⁾ Johdinaineen lämpötila muovieristeillä kaapeleilla +70 °C, paperieristeillä +80 °C sekä PEX-eristeillä +80/90 °C ilmassa ja +85 °C maassa.

²⁾ Asennustapa B STM mukaan.

³⁾ Pienempi arvo johdinsiälämpötilalle +80 °C ja suurempi +90 °C johdinsiälämpötilalle.

Liite 5.

20 kV:n ilmajohtojen johtotietoja

Johdin	Vaiheresistanssi (DC)		Vaihe-reaktanssi	Maakapasitanssi	Käyttökapasitanssi	Suurin sallittu kuormitusvirta	Suurin sallittu 1 s oikosulkuvirta		Jäähtymisaikavakio
	+20 °C 1)	+40 °C 2)	Xv Ω/ km	Cm μF/km	Ck μF/km	In A	T1-litittimet Ik kA	T2-litittimet Ik kA	τ min
Cu 16	1,14	1,23	0,412	0,0061	0,0088	145	2,2	2,3	3
Cu 25	0,718	0,774	0,398	0,0061	0,0092	195	3,5	3,7	4
Cu 35	0,526	0,567	0,387	0,0061	0,0094	240	4,8	5,1	5
Cu 50	0,365	0,394	0,377	0,0061	0,0097	305	6,9	7,3	7
Cu 70	0,266	0,287	0,365	0,0061	0,010	370	9,5	10,1	9
Cu 95	0,195	0,210	0,355	0,0061	0,010	465	13,1	13,8	11
Cu 120	0,150	0,162	0,348	0,0061	0,011	535	17,1	18	13
Al 25	1,16	1,25	0,397	0,0061	0,0092	170	2,1	-	3
Al 40	0,725	0,783	0,382	0,0061	0,0095	230	3,5	-	4
Al 62	0,459	0,496	0,368	0,0061	0,0099	305	5,6	-	6
Al 99	0,288	0,311	0,354	0,0061	0,010	415	8,7	-	8
Al 132	0,218	0,236	0,344	0,0061	0,011	495	11,6	-	10
Al 178	0,162	0,175	0,335	0,0061	0,011	600	15,6	-	13
Al 201	0,143	0,155	0,331	0,0061	0,011	645	17,7	-	15
AlMgSi 25	1,37	1,48	0,397	0,0061	0,0092	155	2,5	-	3
AlMgSi 40	0,834	0,901	0,382	0,0061	0,0095	210	3,5	3,7	4
AlMgSi 62	0,527	0,569	0,368	0,0061	0,0099	285	5,5	5,8	6
AlMgSi 99	0,332	0,359	0,354	0,0061	0,010	390	8,8	9,3	8
AlMgSi 132	0,251	0,271	0,344	0,0061	0,011	460	11,7	12,4	10
AlMgSi 178	0,188	0,203	0,335	0,0061	0,011	560	15,8	16,7	13
AlMgSi/Fe 21/4 Fersema	1,56	1,68	0,398	0,0061	0,0092	145	1,9	2	3
AlMgSi/Fe 106/25	0,317	0,343	0,344	0,0061	0,011	400	9,4	9,9	10
Al/Fe 7/9 Bantam	4,31	4,66	0,413	0,0061	0,0088	80	0,6	0,7	2
Al 11/14 Magpic	2,71	2,93	0,397	0,0061	0,0092	110	1,1	1,2	3
Al/Fe 21/4 Swan	1,35	1,46	0,398	0,0061	0,0092	155	2	2,1	3
Al/Fe 34/8 Sparrow	0,847	0,915	0,383	0,0061	0,0095	210	3,2	3,3	4
Al/Fe 42/25 Savo	0,682	0,737	0,365	0,0061	0,010	250	4	4,2	7
Al/Fe 54/9 Raven	0,535	0,578	0,368	0,0061	0,010	280	5,1	5,3	6
Al/Fe 75/14 Lovisa	0,380	0,411	0,357	0,0061	0,010	335	7,1	7,5	9
Al/Fe 85/14 Pigeon	0,337	0,364	0,354	0,0061	0,011	360	8	8,4	9
Al/Fe 89/52 Dotterel	0,323	0,349	0,342	0,0061	0,011	400	8,4	8,8	13
Al/Fe 93/39 Imatra	0,310	0,335	0,344	0,0061	0,011	405	8,7	9,2	12
Al/Fe 106/25 Suursavo	0,279	0,301	0,344	0,0061	0,011	430	10	10,5	10
Al/Fe 108/23 Vaasa	0,266	0,287	0,344	0,0061	0,011	420	10	10,5	10
Al/Fe 148/68 Kuopio	0,196	0,212	0,328	0,0061	0,011	550	13,9	14,6	16
Al/Fe 152/25 Ostnch	0,190	0,205	0,335	0,0061	0,011	550	14,3	15	15
Al/Fe 305/39 Duck	0,095	0,103	0,314	0,0061	0,012	845	28,7	30,2	22

Liite 6.

Kaapeleiden impedanssi taulukko (arvot kaapelivalmistajilta)

Kaapeli	Pituus (m)	Resistanssi (Ω/km)	Reaktanssi (Ω/km)
DRAKA AXLJ-TTCL 20kV 1*240/35	250	0,125	0,107
AXMK 4*240	20	0,125	0,056
AXMK 4*150	800	0,206	0,063

Kaapeleiden impedanssit saadaan laskemalla yhteen sen resistanssi ja reaktanssiarvot.

Liite 7.

Oikosulkusuojausten laskeminen aloitetaan koko liittymän ja sitä syöttävän kantaverkon oikosulkuimpedanssien laskennalla ja redusoimalla kaikki arvot samaan jänniteportaaseen eli 400 V:n jännitetasoon. Laskuissa edetään lähtien kantaverkosta ja systemaattisesti kohti viimeistä liittymäpistettä. (Jakeluverkon eri kohtia ja liittymäpisteitä voi seurata liitteen 19 piirikaaviosta. Kaikki arvot on kerätty liitteiden 3,5 ja 6 taulukoista sekä generaattorin arvot kohdan 12.8 taulukosta 15.).

Kantaverkon oikosulkuimpedanssi $Z_{k0,4}$ 0,4 kV:n tasossa:

$$Z_{k0,4} = Z_{k20} * \left(\frac{1}{\mu}\right)^2 = 4,31\Omega * \left(\frac{1}{20kV/0,4kV}\right)^2 = 1,72m\Omega$$

20 kV:n 152 Al/Fe 30 km ilmajohdon oikosulkuimpedanssi Z_{ij20kV} 0,4 kV:n tasossa:

$$Z_{ij20kV} = (R + jX) * l * \left(\frac{1}{\mu}\right)^2 = (0,205\Omega + j0,335\Omega) * 30km * \left(\frac{1}{20kV/0,4kV}\right)^2$$

$$= 4,7m\Omega \angle 58,54^\circ$$

20 kV:n AXLJ-TTCL 1*240 DRAKA 0,25 km merkkisen keskijännitekaapelin oikosulkuimpedanssi $Z_{j0,4kV}$ 0,4 kV:n tasossa:

$$Z_{j20kV} = (R + jX) * l * \left(\frac{1}{\mu}\right)^2 = (0,125\Omega + j0,107\Omega) * 0,25km * \left(\frac{1}{20kV/0,4kV}\right)^2$$

$$= 0,017m\Omega \angle 40,56^\circ$$

Pisteen 1. 500 kVA:n 20 kV:n/0,4 kV:n muuntajan oikosulkuimpedanssi $Z_{M1-0,4}$ 0,4 kV:n tasossa:

$$Z_{M1-0,4} = R_k + jX_k = 14m\Omega \angle 74,93^\circ$$

0,4 kV:n 240 Al maakaapelin oikosulkuimpedanssi $Z_{j0,4kV}$ 0,03 km matkalle

$$Z_{j0,4kV} = (R + jX) * l = (0,125\Omega + j0,056\Omega) * 0,03km = 2,74m\Omega \angle 24,13^\circ$$

Liite 8.

Pistettä 2. syöttävä 200 kVA:n varavoima generaattorin oikosulkuimpedanssi $Z_{G0,4}$:

$$Z_{G0,4} = R + jX_d = 0,016\Omega + j0,47\Omega = 0,47\Omega \angle 88,05^\circ$$

X_d on generaattorin tahtireaktanssi, josta muodostuu usein generaattorin koko oikosulkuimpedanssi.

Pisteen 3. 100 kVA:n 0,4 kV:n/1 kV:n muuntajan oikosulkuimpedanssi $Z_{M2-0,4}$ 0,4 kV:n tasossa:

$$Z_{M2-0,4} = 0,037\Omega + j0,056 = 67m\Omega \angle 56,54^\circ$$

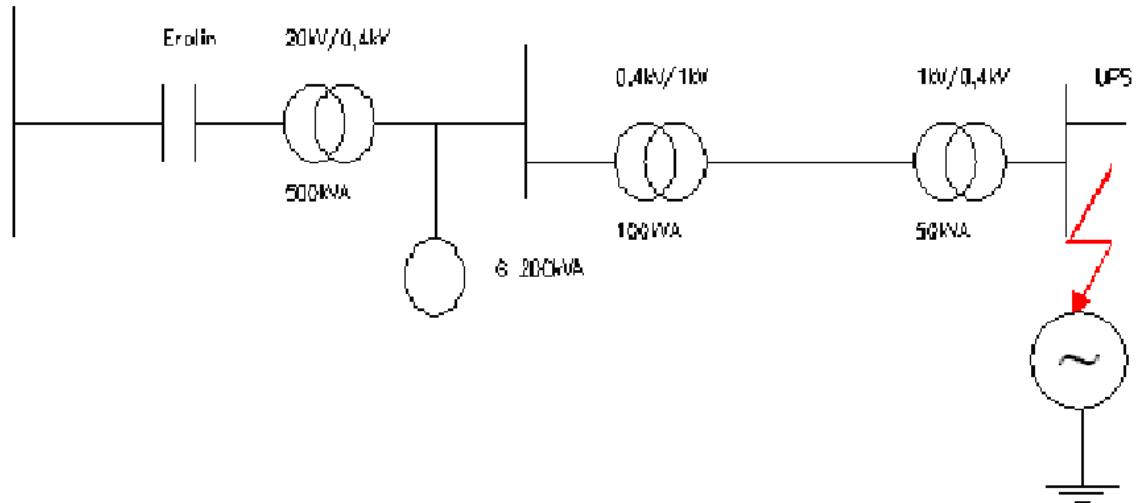
1 kV:n 150 Al maakaapelin oikosulkuimpedanssi $Z_{j1,0kV}$ 0,8 km matkalle 0,4 kV:n tasossa:

$$\begin{aligned} Z_{j1,0kV} &= R + jX \cdot l \cdot \left(\frac{1}{\mu}\right)^2 = 0,206\Omega + j0,063\Omega \cdot 0,8km \cdot \left(\frac{1}{1kV/0,4kV}\right)^2 \\ &= 0,027\Omega \angle 17,01^\circ \end{aligned}$$

Pisteen 4. 50 kVA:n 1 kV:n/0,4 kV:n muuntajan oikosulkuimpedanssi $Z_{M3-0,4}$ 400 V:n tasossa:

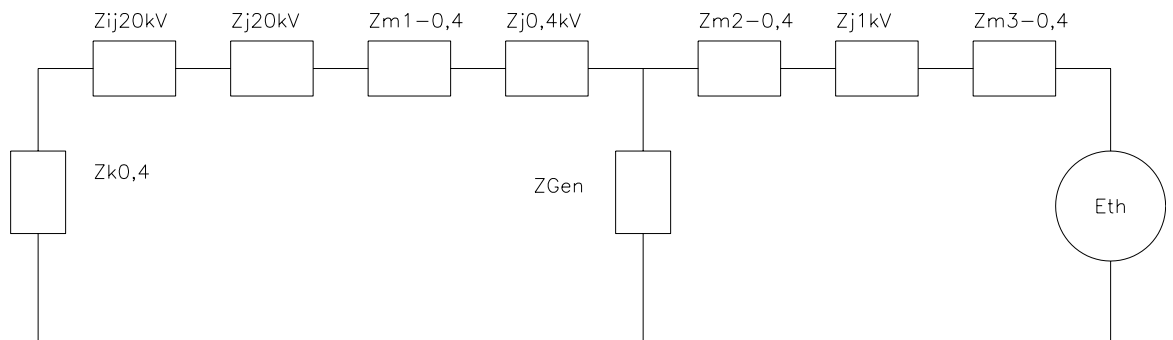
$$Z_{M3-0,4} = 0,067\Omega + j0,045\Omega = 0,08\Omega \angle 33,89^\circ$$

Liite 9.



Kuva 1. Verkon piirikaavio ja vikapaikka

Kuvassa 2. Verkon sijaiskytkentä kun vika on piirikaavioon merkityssä kohdassa heti 1/0,4 kV:n 50 kVA:n muuntajan jälkeen. Laskuissa on merkitty selkeyttämisen vuoksi viittauksia liitteen 19 piirikaavioon ja sen eri kohtiin. Kyseinen vika kohta on piirikaavion pisteessä 4:



Kuva 2. Verkon sijaiskytkentä

E_{th} : On sijaiskytkennän theveninin jännitelähde, joka on sijaiskytkennän vikapaikassa

$Z_{k0,4}$: On taustaverkon oikosulkuimpedanssi

Z_{ij20kV} : On 30 km 20 kV:n ilmajohdon oikosulkuimpedanssi

Z_{j20kV} : On 0,2 km 20 kV:n maakaapelin oikosulkuimpedanssi

$Z_{m1-0,4}$: On 500 kVA:n 20 kV:n/0,4 kV:n muuntajan oikosulkuimpedanssi (piste 1)

$Z_{j0,4kV}$: On 0,4 kV:n 240 Al maakaapelin oikosulkuimpedanssi 0,03 km matkalle

Liite 10.

Z_{Gen} : On varavoima generaattorin oikosulkuimpedanssi (piste 2)

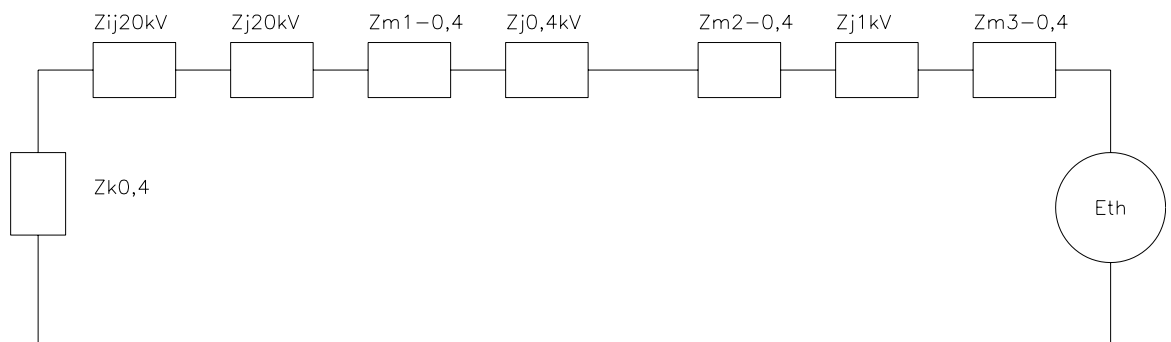
$Z_{m2-0,4}$: On 100 kVA:n 0,4 kV:n/1 kV:n muuntajan oikosulkuimpedanssi

Z_{j1kV} : On 1 kV:n 150 Al maakaapelin oikosulkuimpedanssi 0,8 km matkalle

$Z_{m3-0,4}$: On 50 kVA:n 1 kV:n/0,4 kV:n muuntajan oikosulkuimpedanssi (piste 3)

Kohta 1. Vika paikka on liitteen 19 piirikaavion pisteessä 4. Laskut on esitetty sekä normaali, että generaattori käyttöissä (myötaverkko, vastaverkko ja nollaverkko).

Laskuissa lähdetään kauimmaisesta pisteestä ja tullaan kohti taustaverkkoa.



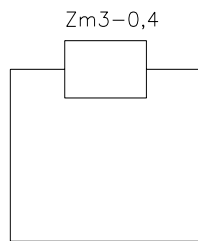
Kuva 3. Myötaverkon sijaiskytkentä normaalitilassa eli varavoimageneraattori ei ole käytössä

Myötaverkon oikosulkuimpedanssi normaalitilassa Z_1 :

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= Z_{M3-0,4} + Z_{j1kV} + Z_{M2-0,4} + Z_{j0,4kV} + Z_{M1-0,4} + Z_{j20kV} + Z_{ij20kV} + Z_{k0,4} = \\
 &= 0,08\Omega\angle 33,89^\circ + 0,027\Omega\angle 17,01^\circ + 67m\Omega\angle 56,54^\circ + 0,74m\Omega\angle 24,13^\circ + \\
 &+ 4m\Omega\angle 74,93^\circ + (0,017m\Omega\angle 40,56^\circ) + 4,7m\Omega\angle 58,44^\circ + 0,72m\Omega\angle 90^\circ = 0,19\Omega\angle 43,06^\circ
 \end{aligned}$$

Normaali tilassa vastaverkon oikosulkuimpedanssi on sama kuin myötaverkon oikosulkuimpedanssi:

$$Z_1 = Z_2$$



Kuva 4. Nollaverkon sijaiskytkennät normaalitilassa:

Nollaverkon oikosulkuimpedanssi Z_0 :

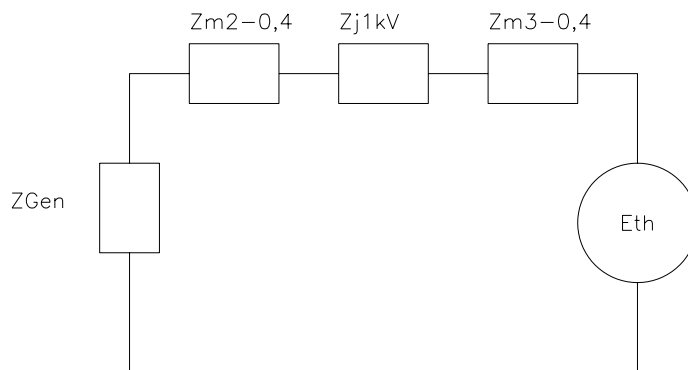
$$Z_0 = Z_{m3-0,4} = 0,08\Omega \angle 33,89^\circ$$

Kokonaisoikosulkuimpedanssi pisteessä 4 (Z_{kp4}) normaalitilassa myötäverkko, vastaverkko ja nollaverkko:

$$Z_{kp4} = Z_1 + Z_2 + Z_0 = (0,19\Omega \angle 43,06^\circ) + (0,19\Omega \angle 43,06^\circ) + (0,08\Omega \angle 33,89^\circ) = 0,46\Omega \angle 41,47^\circ$$

Oikosulkuvirta 400 V:n tasossa normaalitilassa:

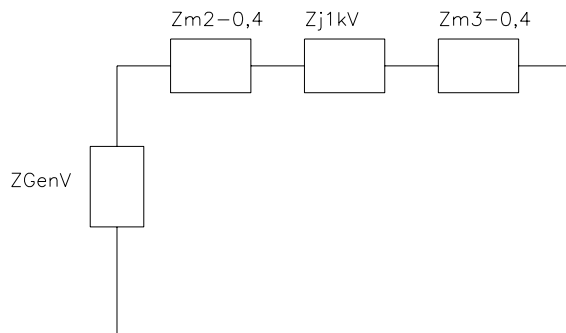
$$I_{kp4} = \frac{c * U}{\sqrt{3} * Z_{km3}} = \frac{0,95 * 400V}{\sqrt{3} * 0,46\Omega \angle 41,47^\circ} = 476,94A \angle -41,47^\circ$$



Kuva 5. Myötäverkon sijaiskytkentä generaattorikäytössä

Myötäverkon oikosulkuimpedanssi generaattori käytössä Z_{G1} :

$$Z_{G1} = Z_{M3-0,4} + Z_{j1kV} + Z_{M2-0,4} + Z_{Gen} = (0,08\Omega \angle 33,89^\circ) + (0,027\Omega \angle 17,01^\circ) + (67m\Omega \angle 56,54^\circ) + (0,47\Omega \angle 88,05^\circ) = 0,59\Omega \angle 75,91^\circ$$



Kuva 6. Vastaverkon sijaiskytkentä generaattori käytössä:

Vastaverkon oikosulkuimpedanssi generaattorikäytössä Z_{G2} (generaattorin vastaverkko impedanssi Z_{GenV}):

$$Z_{G2} = Z_{M3-0,4} + Z_{j1kV} + Z_{M2-0,4} + Z_{GenV} = (0,08\Omega\angle33,89^\circ) + (0,027\Omega\angle17,01^\circ) + (67m\Omega\angle56,54^\circ) + (0,11\Omega\angle81,72^\circ) = 0,26\Omega\angle51,28^\circ$$

Nollaverkon oikosulkuimpedanssi generaattori käytössä on sama, kuin se on normaali tilassakin eli:

$$Z_{G0} = Z_0$$

Kokonaisoikosulkuimpedanssi pisteessä 4 (Z_{kp4G}) generaattorikäytössä myötäverkko, vastaverkko ja nollaverkko:

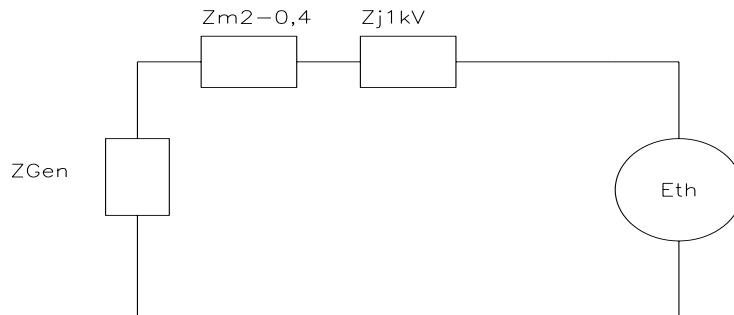
$$Z_{kp4G} = Z_{G1} + Z_{G2} + Z_{G0} = 0,59\Omega\angle75,91^\circ + 0,26\Omega\angle51,28^\circ + 0,08\Omega\angle38,89^\circ = 0,90\Omega\angle65,94^\circ$$

Oikosulkuvirta 400 V:n tasossa generaattorikäytössä:

$$I_{kp4G} = \frac{c * U}{\sqrt{3} * Z_{kp4G}} = \frac{0,95 * 400V}{\sqrt{3} * 0,90\Omega\angle65,94^\circ} = 243,77A\angle-65,93^\circ$$

Tuloksista huomataan, että generaattori käytössä oikosulkuvirta on paljon pienempi, kuin normaali käytössä. Jatkossa lasketaan vain tilanteet joissa ollaan generaattori käytössä, kunnes siirrytään generaattoria edeltävään verkko portaaseen.

Kohta 2. generaattorikäytön sijaiskytkennät ja oikosulkuimpedanssi arvot, kun vika paikka on 1/0,4 kV:n 50 kVA:n muuntajalla. Liitteen 19 piirikaavion pisteessä 3.

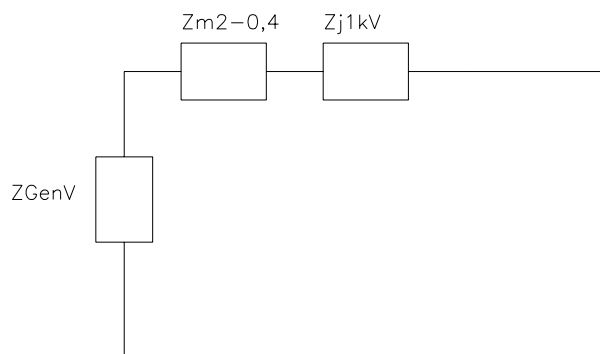


Kuva 7. Generaattori käytön myötäverkon sijaiskytkentä

Myötäverkon oikosulkuimpedanssit Z_{G1} :

$$Z_{G1} = Z_{j1kV} + Z_{M2-0,4} + Z_{Gen} =$$

$$(0,027\Omega \angle 17,01^\circ) + (67m\Omega \angle 56,54^\circ) + (0,47\Omega \angle 88,05^\circ) = 0,54\Omega \angle 81,60^\circ$$



Kuva 8. Generaattori käytön vastaverkon sijaiskytkentä

Vastaverkon oikosulkuimpedanssi Z_{G2} :

$$Z_{G2} = Z_{j1kV} + Z_{M2-0,4} + Z_{GenV} =$$

$$(0,027\Omega \angle 17,01^\circ) + (67m\Omega \angle 56,54^\circ) + (0,1\Omega \angle 81,72^\circ) = 0,19\Omega \angle 65,47^\circ$$

Nollaverkon oikosulkuimpedanssia ei tässä tilanteessa ole, koska 1 kV:n jännite taso on maasta erotettu. Joten voidaan heti laskea kokonaisuikosulkuimpedanssi pisteessä 3. (Z_{kP3G}) myötäverkko ja vastaverkko:

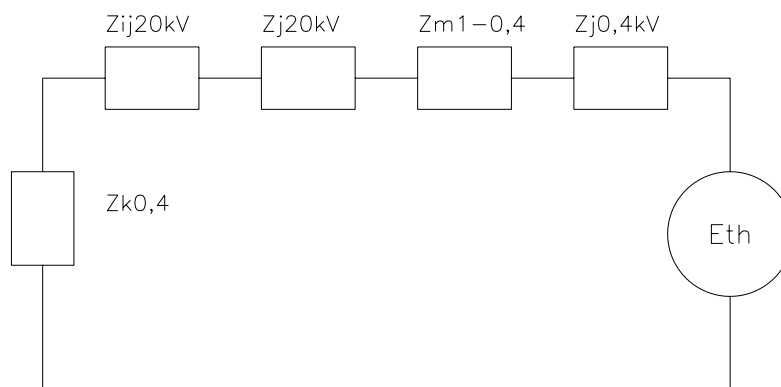
$$Z_{kP3G} = 0,54\Omega \angle 81,60^\circ + 0,19\Omega \angle 65,47^\circ = 0,72\Omega \angle 77,42^\circ$$

Kokonaisuikosulkuimpedanssista lasketaan oikosulkuvirta pisteessä 3. (I_{kP3G}) 400 V:n tasossa 1/0,4 kV:n 50 kVA:n muuntajalla generaattorikäytössä:

$$I_{kP3G} = \frac{c * U}{\sqrt{3} * Z_{kP3G}} = \frac{0,95 * 400V}{\sqrt{3} * 0,72\Omega \angle 77,42^\circ} = 304,71A \angle -77,42^\circ$$

Kohta kolme liitteen 19 piirikaavion piste 2. sijaiskytkennät ja oikosulkuimpedanssit. Tämä kohta lasketaan normaali käytössä sekä generaattori käytössä, koska pisteessä 2 olevaa keskusta syötetään normaali tilassa eri kaapeli, kuin mitä generaattorilta tuleva keskuksen syöttö on. Generaattorin oikosulkuvirta lasketaan vain, jotta tiedetään generaattorin sisäinen oikosulkuvirta.

Tutkitaan ensin normaali tilassa olevia sijaiskytkentöjä.



Kuva 9. Myötäverkon sijaiskytkentä

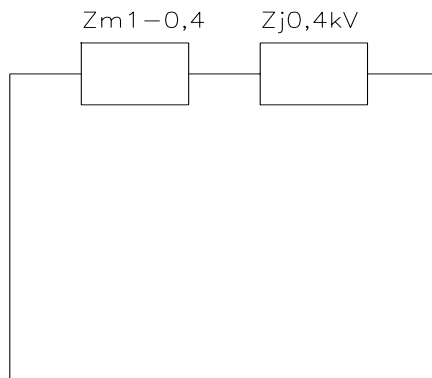
Myötäverkon oikosulkuimpedanssit Z_1 :

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_{j0,4kV} + Z_{M1-0,4} + Z_{j20kV} + Z_{ij20kV} + Z_{k0,4} = \\ &= 0,74m\Omega \angle 24,13^\circ + 4m\Omega \angle 74,93^\circ + (0,017m\Omega \angle 40,56^\circ) + 0,7m\Omega \angle 58,44^\circ + \\ &= 0,72m\Omega \angle 90^\circ = 0,02\Omega \angle 67,08^\circ \end{aligned}$$

Vastaverkon oikosulkuimpedanssi on sama kuin myötäverkon oikosulkuimpedanssi:

$$Z_1 = Z_2$$

Liite 15.



Kuva 10. Nollaverkon sijaiskytkentä

Nollaverkon oikosulkuimpedanssit ovat pelkästään 500 kVA:n muuntaja ja 240 AXMK kaapeli, koska 20 kV:n verkko on maasta erotettu:

$$Z_0 = Z_{j0,4kV} + Z_{M1-0,4} = (2,74m\Omega \angle 24,13^\circ) + (14m\Omega \angle 74,93^\circ) = 0,016\Omega \angle 67,24^\circ$$

Pisteen 2. kokonaisoikosulkuimpedanssi (Z_{kP2}) on myötäverkko, vastaverkko ja nollaverkko:

$$Z_{kP2} = 0,02\Omega \angle 67,08^\circ + 0,02\Omega \angle 67,08^\circ + 0,016\Omega \angle 67,24^\circ = 0,056\Omega \angle 67,13^\circ$$

Pisteen 2. oikosulkuvirta (I_{kP2}):

$$I_{kP2} = \frac{c * U}{\sqrt{3} * Z_{kP2}} \frac{0,95 * 400V}{\sqrt{3} * 0,056\Omega \angle 67,13^\circ} = 3,9kA \angle -67,13^\circ$$

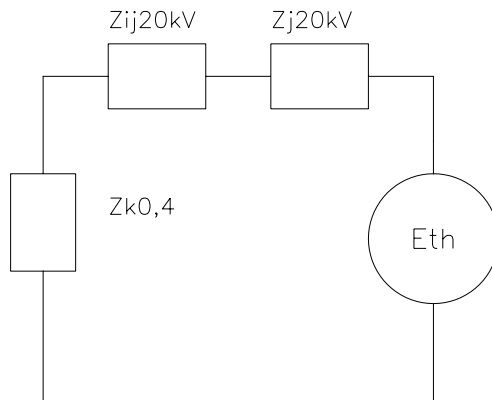
Pisteen 2. generaattori käytön oikosulkuimpedanssi on generaattorin myötäverkon ja vastaverkon oikosulkuimpedanssi:

$$Z_{kP2G} = Z_{Gen} + Z_{GenV} = 0,57\Omega \angle 86,85^\circ$$

Pisteen 2. generaattori käytön oikosulkuvirta (I_{kP2G}):

$$I_{kP2G} = \frac{c * U}{\sqrt{3} * Z_{kP2G}} \frac{0,95 * 400V}{\sqrt{3} * 0,57\Omega \angle 86,85^\circ} = 384,9A \angle -86,85^\circ$$

Liite 16.

Kohta 4 Liitteen 19 pisteen 1. oikosulkuimpedanssit ja sijaiskytkennät:

Kuva 11. Myötäverkon sijaiskytkentä

Myötäverkon oikosulkuimpedanssi Z_1 :

$$Z_1 = Z_{k0,4} + Z_{ij20kV} + Z_{j20kV} = 0,0063\Omega \angle 66,68^\circ$$

Vastaverkko on sama, kuin myötäverkko:

$$Z_1 = Z_2$$

Pisteen 1. kokonaisoikosulkuimpedanssi (Z_{kp1}) on myötäverkko + vastaverkko:

$$Z_{kp1} = 0,0063\Omega \angle 66,68^\circ + 0,0063\Omega \angle 66,68^\circ = 0,013\Omega \angle 66,68^\circ$$

Pisteen 1. Oikosulkuvirta:

$$I_{kp1} = \frac{c * U}{\sqrt{3} * Z_{kp2G}} \frac{0,95 * 400V}{\sqrt{3} * 0,013\Omega \angle 66,68^\circ} = 16,8kA \angle -66,68^\circ$$

Eaton 9390 UPS 40-160 kVA

TEKNISETTIEDOT

UPSin lähtötehot/ tehokerroin (0,9 p.f.)

kVA 40 60 80 100 120 160

kW 36 54 72 90 108 144

Ominaisuudet

Hyötysuhde online moodissa (täysi kuorma) 94%

Hyötysuhde online moodissa (puoli kuorma) 92,5%

Hyötysuhde energiansäästö-moodissa (täysi kuorma) jopa 99%

Rinnankäyvä järjestelmä Hot Sync -tekniologialla 6

Laajennettavuus kentällä Kyllä

Topologia Muuntajaton IGBT-tekniikka ja PWM

Äänitaso <65 dB

Korkeus maanpinnasta 1000 m (max 2000 m)

Tulo

Johdotus 3-vaihe + N + PE

Nimellinen jännite 220/380, 230/400, 240/415 V 50/60 Hz

Tulojännitealue ±15%, +20% nimellisestä 100% kuormalla, -30%/+20% nimellisestä 50% kuormalla

Taajuusalue 45-65 Hz

Tehokerroin 0,99

Särö ITHD vähemmän kuin 5%

Pehmeä startti optiona Kyllä

Sisäisen takaisinsyötönsuoja Kyllä

Lähtö

Johdotus 3-vaihe + N + PE

Nimellinen jännite (säädetävissä) 220/380, 230/400, 240/415 V 50/60 Hz

Lähdön UTHD <3% (100% lineaarinen kuorma); <5% (vakio ei-lineaarinen kuorma)

Tehokerroin 0,9 (esim. 72 kW / 80 kVA)

Sallittu kuorman tehokerroin 0,7 induktiivinen - 0,8 kapasitiivinen

Ylikuormitus 10 min 100...110%; 30 s 110...125%; 10 s 125...150%; 300 ms >150%

Ylikuormitus kun ohitus on saatavissa Jatkuva 100...110%, 10 min 110...150%; 5 ms 1000%. Huom. Sulakkeet voivat olla rajoituksena

Akusto

Tyyppi Lyijy VRLA , NiCD

Varaustekniikka ABM-tekniologia tai jatkuva kestovaraus

Lämpökompensointi Optiona

Nimellisjännite (lyijyhappo) 480 V (40x12 V, 240 kennoa)

Varausjännite / malli Vakio A 40/10 60/20 80/20 100/30 120/30 160/40
*Max A 40/20 60/40 80/40 100/60 120/60 160/80

*Rajoitettu suurimman UPS-tulovirran mukaan

Lisävarusteet

XSlot -yhteensopivuus (Web/SNMP, ModBus/JBus, rele, Hot Sync), Hot Sync-rinnankäyntikeskukset, erotusmuuntajakaapit (erinäköiset kuin UPS), lisäakkukaapit pitkäikäisillä akustoilla, EMP-ympäristönvalvontayksikkö, UPS-keskus, manuaalinen ohituskytkin 80 kVA:n asti, ulkoinen ohituskytkin ja räkit .

Liitettävyyden ja kommunikaatio

X-Slot 4 kommunikaatioväylää

Sarjaportti 1

Reletulot/-lähdöt 5/1 ohjelmoitavissa

Standardit

Turvallisuus (CB-merkitty) IEC 62040-1, IEC 60950-1

EMC IEC 62040-2

Suorituskyky IEC 62040-3

Liite 18.

9390 UPS				
Tuotenumero	UPS-malli	Teho	Mitat (KxLxS)	Paino
1028510	9390-40-N-4x0	40 kVA / 36 kW	1879x519x808 mm	257 kg
1028511	9390-60-U-4x0	60 kVA / 54 kW	1879x519x808 mm	313 kg
1028512	9390-80-N-4x0	80 kVA / 72 kW	1879x519x804 mm	313 kg
1028513	9390-100-U-4x0	100 kVA / 90 kW	1879x944x804 mm	430 kg
1028514	9390-120-N-4x0	120 kVA / 108 kW	1879x944x804 mm	430 kg
1028515	9390-120-U-4x0	120 kVA / 108 kW	1879x944x804 mm	530 kg
1028516	9390-160-N-4x0	160 kVA / 144 kW	1879x944x804 mm	530 kg
Ulkoinen akusto				
1025570	9390-BAT10-S-40x38Ah (250A)	38 Ah	1877x575x773 mm	700 kg
1025572	9390-BAT10-S-200 (250A)	200 W	1877x575x773 mm	1176 kg
1026327	9390-BAT10-S-205 (250A)	205 W	1879x1125x808 mm	1270 kg
1025467	9390-BAT10-280 (250A)	280 W	1879x1125x808 mm	1430 kg
1025468	9390-BAT10-500 (250A)	500 W	1879x1125x808 mm	1444 kg
1025469	9390-BAT10-280 (400A)	280 W	1879x1125x808 mm	1625 kg
1025470	9390-BAT10-330 (400A)	330 W	1879x1125x808 mm	2188 kg
1025471	9390-BAT10-500 (400A)	500 W	1879x1125x808 mm	2188 kg
Akustoräkit				
1026273	9390-RACK10-1x40x200W	200 W	1714x566x1246 mm	985 kg
1026274	9390-RACK10-1x40x280W	280 W	1726x690x1246 mm	1228 kg
1026275	9390-RACK10-1x40x330W	330 W	1726x690x1546 mm	1431 kg
1026276	9390-RACK10-1x40x390W	390 W	1729x690x1546 mm	1587 kg
1026277	9390-RACK10-1x40x500W	500 W	1789x690x1546 mm	1995 kg
1026278	9390-RACK10-2x40x500W	500 W	1714x866x1856 mm	3879 kg
1026279	9390-RACK10-3x40x500W	500 W	1789x690x3666 mm	5865 kg
Katso varakäyntiajat erillisistä teknisistä spekseistä				
Lisävarusteet				
1021887	Ulkoinen ohituskytkin 60-80kVA (seinäkiinnitys)	seinä	840x380x130 mm	17 kg
1021888	Ulkoinen ohituskytkin 120 kVA (seinäkiinnitys)	seinä	1040x560x130 mm	25 kg
1024626	Ulkoinen ohituskytkin 160 kVA (seinäkiinnitys)	seinä	1040x560x130 mm	25 kg
1025476	SPM-60-2	seinä	700x500x250 mm	50 kg
1023540	SPM-80-4	lattia	1530x520x788 mm	230 kg
1024687	9390 Tie Cabinet 3x120 kVA	lattia	1879x519x808 mm	217 kg
1024506	9390 Tie Cabinet 3x160 kVA	lattia	1879x519x808 mm	217 kg

Liite 19.

